



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTÍ V MALOSÉRIOVÉ VÝROBĚ S APLIKACÍ CNC STROJŮ

MACHINING OF PARTS IN LOW SERIES PRODUCTION WITH CNC  
MACHINE APPLICATION

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Vaverka

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Chladil, CSc.

BRNO 2017

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Jiří Vaverka</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Josef Chladil, CSc.</b>
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Obrábění součástí v malosériové výrobě s aplikací CNC strojů

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Malosériová výroba, CNC stroje a jejich programování ručně a strojně, technologie obrábění na CNC strojích, řezné podmínky.

#### Cíle diplomové práce:

Srovnání manuálního programování se strojním CNC obráběcích strojů, volba podmínek.

#### Seznam literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. et al. (2009): Speciální technologie obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

ZEMČÍK, O. (2002): Technologická příprava výroby. Brno: CERM, 158 s. ISBN 80-214-2219-x.

MELUZÍN, T., MELUZÍN, V. (2007): Základy ekonomiky podniku. Vyd. 2., přeprac. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 119 s. ISBN 978-80-214-3472-1.

HUMÁR, A. (2008): Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 235 s., ISBN 978-80-254-2250-2.

SHAW, M. C. (2005): Metal Cutting Principles, 2nd. edition, New York Oxford University Press, 651 p., ISBN 0-19-514206-3.

Mc. MAHON, C.; BROWNE, J. (1998): CAD / CAM Principles, Practice and Manufacturing Management, 2nd. edition, Addison - Wesley, 665 p., ISBN 02-011-7819-2.

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně / Technická 2896/2 / 616 69 / Brno

---

## ABSTRAKT

Tématem této práce je zvolení optimální výrobní technologie pro vybraného představitele. Cílem této práce je porovnat výrobu na klasických obráběcích strojích a na NC a CNC strojích. Obě varianty jsou vyhodnoceny z hlediska efektivnosti, rychlosti a ekonomiky výroby. Z výsledků jsou vytvořeny doporučené výrobní postupy podle počtu kusů vyráběných v zakázce.

### Klíčová slova

obrábění, programování, obráběcí stroj, malosériová výroba, výrobní postup

## ABSTRACT

The topic of this thesis is the choice of optimal production technology for the chosen representative. The aim of this work is to compare production on conventional machine and on NC and CNC machines. Both variants are evaluated in terms of efficiency, speed and economy of production. Outputs are based on recommended production procedures based on the number of pieces produced in the order.

### Key words

machining, programming, machine, small series production, production process

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAVERKA, Jiří. *Obrábění součástí v malosériové výrobě s aplikací CNC strojů*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 52 s. 5 příloh. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Chladil, CSc..

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Obrábění součástí v malosériové výrobě s aplikací CNC strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Bc. Jiří Vaverka

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Chladilovi, CSc. a spolupracovníkům firmy Metalpres s.r.o. za cenné připomínky a rady, které mi poskytli při vypracování diplomové práce.

---

<b>OBSAH</b>	
ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	7
1. VOLBA VÝROBNÍHO PŘEDSTAVITELE	8
1.1. Popis součásti	8
1.2. Rozbor součásti	8
1.3. Procesy obrábění	8
1.3.1 Základní obráběcí operace	9
1.3.2. Druhy výroby dle sériovosti	20
2. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ NA NC A CNC STROJÍCH	21
2.1. Historie programování NC a CNC strojů pomocí CAD/CAM	21
2.2. Ruční vs. strojní programování	21
2.2.1. Ruční programování	22
2.2.2. Strojní programování	24
2.3. Používaný software ve firmě pro tvorbu programů	25
2.3.1. Kovoprog	25
2.3.2. ABC Editor	26
2.4. Strojní park firmy s řídicími systémy	27
2.4.1. Frézovací operace	27
2.4.2. Soustružnické operace	30
2.4.3. Vrtací operace	31
3. TECHNOLOGIE VÝROBY ZVOLENÉ SOUČÁSTI	32
3.1. Varianta I. – výroba na klasických obráběcích strojích	32
3.2. Varianta II. – výroba na NC a CNC strojích	35
4. ZHODNOCENÍ NÁVRHU VÝROBY	36
4.1. Strojní časy	36
4.2. Výrobní náklady	44
4.3. Hodnocení výsledků	45
DISKUZE	46
ZÁVĚR	47
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
SEZNAM PŘÍLOH	52

---

---

## ÚVOD

Tato diplomová práce bude vytvořena jako podklad pro výrobu součástí Opěrný kotouč v podmínkách strojírenské firmy Metalpres s r.o. Vyrobit součást, jak všichni dobře víme, lze vyrobit mnoha způsoby. A proto tato práce bude zaměřena na volbu nejvhodnější technologie výroby, kde bude zhodnocena efektivnost, rychlost výroby, ale také ekonomické hledisko.

Bude vybrán představitel, na kterém budou provedeny základní obráběcí operace, jako jsou operace frézování, soustružení, vrtání nebo broušení.

Pro vybranou součást bude vytvořeno variantní řešení výroby, kde I. variantou bude výroba součástí na klasických obráběcích strojích a ve II. variantě bude výroba prováděna na NC a CNC strojích. Na obě varianty budou použity stroje, které jsou ve vybavení firmy.

Firma Metalpres s.r.o. sídlí v obci Zastávka u Brna asi 25 km západně od Brna. Mezi hlavní činnosti firmy patří služby v oblasti výroby tvářecích strojů (Obr. 1), oprav a kontroly strojů ve smyslu ČSN EN 692, stěhování strojů, posuzování shody ve smyslu zákona 22/1997 Sb., resp. nařízení vlády 378/2001 Sb. [1]. Dále se zabývá kooperační výrobou dílců.

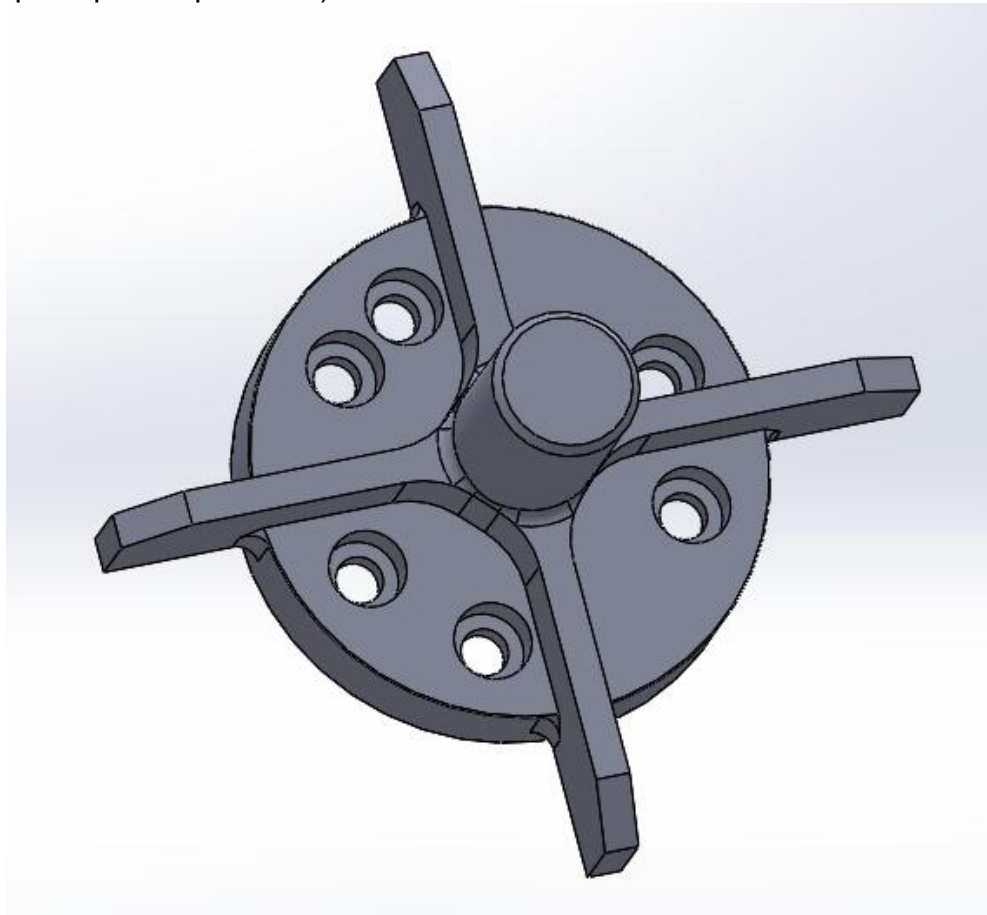


Obr. 1. Příklady vyráběných tvářecích strojů ve firmě Metalpres s.r.o. [1]

---

## 1. VOLBA VÝROBNÍHO PŘEDSTAVITELE

Pro účel této práce byla vybrána součást s názvem Opěrný kotouč prezentující většinu obráběcích operací (obr. 1.1). Na výrobu součásti se používají technologie soustružení, frézování, vrtání a broušení (Výrobní výkres – viz Příloha 1, Výrobní postup – viz příloha 2).



Obr. 1.1 Opěrný kotouč

### 1.1. Popis součásti

Součást je vyrobena z materiálu 19573 (materiálový list - viz Příloha 3). Polotovár je z přířezu, z tyče průměru 202 mm a délka přířezu je 90 mm.

### 1.2. Rozbor součásti

Součást je vyráběna pro zahraničního odběratele v rámci kooperační výroby. Vzhledem k tvaru součásti mohou pouze odhadovat, k čemu tato součást slouží, ale při pohledu na výkres jsem toho názoru, že součást slouží jako spojovací díl.

### 1.3. Procesy obrábění

Obrábění je jedním ze základních procesů při výrobě součástí. Při třískovém obrábění dochází ke změně tvaru obráběné součásti, kterou pomocí různých obráběcích operací měníme do požadovaného tvaru za dodržení předepsaných rozměrových a geometrických tolerancí a dále při dodržení předepsané drsnosti obrobenej plochy [2,4].

---



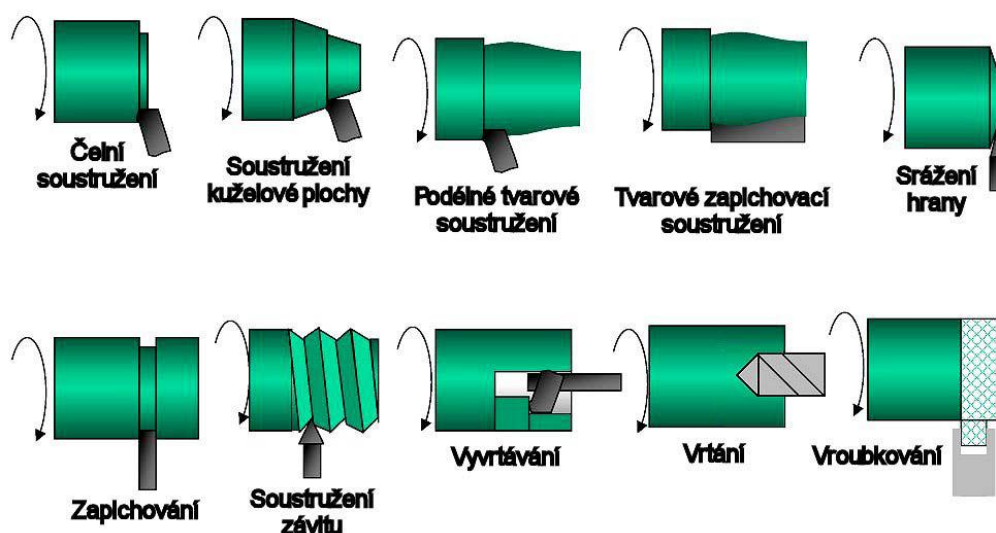
Dle charakteru práce můžeme obrábění rozdělit na ruční a strojní. Mezi ruční metody obrábění patří například pilování nebo řezání. Strojní metody obrábění můžeme rozdělit podle charakteristických znaků do čtyř skupin:

- Nástroje s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, zahlubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování, protahování atd.),
- nástroje s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování, superfinišování atd.),
- nekonvenční metody obrábění (elektroerozivní, elektrochemické, ultrazvukem, elektronovým paprskem, laserovým paprskem, vodním paprskem atd.),
- dokončování obrobených ploch (leštění, válečkování, hlazení atd.) [2,4].

### 1.3.1. Základní obráběcí operace

#### Soustružení

Soustružení je základní operace třískového obrábění. Používá se pro výrobu rotačních dílců při použití především jednobřitého nástroje. Soustružením je možno obrábět čelní, vnější i vnitřní plochy, soustružit vnější i vnitřní závity nebo zápichy. Dále je možno na soustruhu vrtat, válečkovat, hladit a mnoho dalších operací (Obr. 1.2) [2,4].



Obr. 1.2 Základní soustružnické operace [4]

#### **Nástroje pro soustružení:**

Pro soustružení se nejčastěji používají radiální nože. Další typy nožů jsou prizmatické, tangenciální a kotoučové. Radiální nože dle konstrukce můžeme rozdělit na celistvé, s pájenými břitovými destičkami a s vyměnitelnými destičkami. Dále radiální soustružnické nože můžeme rozdělit na pravé nebo levé, pro vnější nebo vnitřní plochy nebo dle tvaru na přímé nebo ohnuté [2,4].

#### **Řezný pohyb:**

Hlavní pohyb koná obrobek a jedná se o pohyb rotační, vedlejší pohyb koná nástroj a tento pohyb je přímočarý. Řezný pohyb  $v_e$  se skládá ze dvou složek: řezné rychlosti  $v_c$  a posuvové rychlosti  $v_f$  (Obr. 1.3). Výsledný řezný pohyb má při podélném soustružení tvar šroubovice, při čelním soustružení má tvar Archimedovy spirály [2,4].

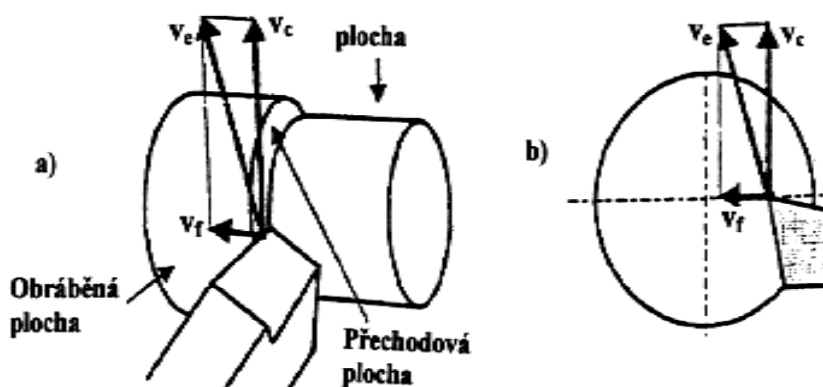
Vztahy pro výpočet řezného pohybu [2]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot min^{-1}], \quad (1.1)$$

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot min^{-1}], \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 1000 \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} [m \cdot min^{-1}], \quad (1.3)$$

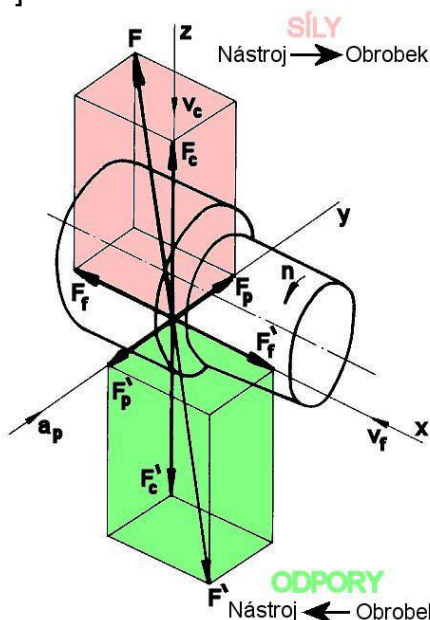
kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné plochy,  
 $n$  [ $min^{-1}$ ] - otáčky obrobku,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.



Obr. 1.3 Řezné pohyby a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [2]

### Řezné síly:

Celkovou řeznou sílu značíme  $F$  a skládá se ze tří složek (Obr. 1.4). Hlavní složkou celkové řezné síly je řezná síla  $F_c$ , dalšími složkami jsou posuvová síla  $F_f$  a pasivní síla  $F_p$  (Obr. 1.4) [2,4].



Obr. 1.4 Řezné síly při soustružení [2]

Vztahy pro výpočet řezné síly [2]:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} [N], \quad (1.4)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} [N], \quad (1.5)$$

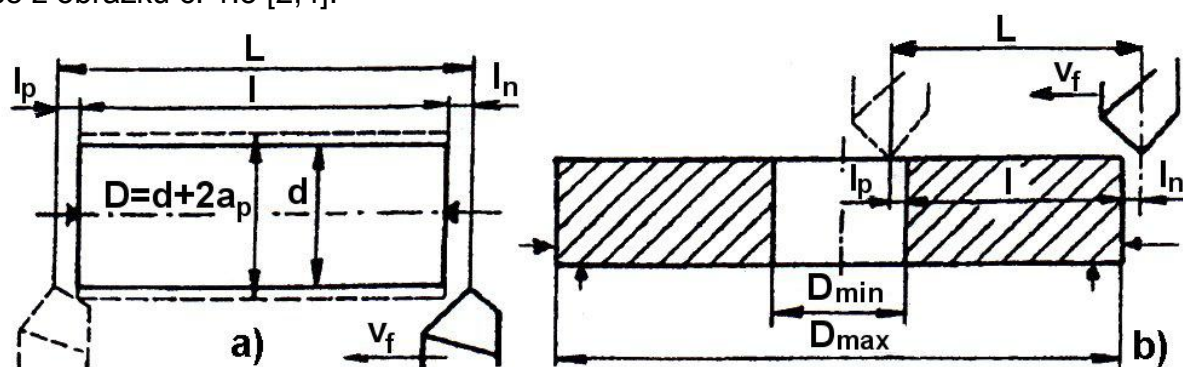
$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} [N], \quad (1.6)$$

kde:  $C_{Fc}$ ,  $C_{Ff}$ ,  $C_{Fp}$  [-] – materiálové konstanty,  
 $x_{Fc}$ ,  $x_{Ff}$ ,  $x_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu  $a_p$ ,  
 $y_{Fc}$ ,  $y_{Ff}$ ,  $y_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu  $f$ ,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \text{ [N]}. \quad (1.7)$$

### Jednotkový strojní čas:

Výpočet jednotkového strojního času se liší podle obráběné plochy, vychází se z obrázku č. 1.5 [2,4].



Obr. 1.5 Jednotkový strojní čas [2]  
a) podélné soustružení, b) čelní soustružení

Výpočet pro podélné soustružení [2]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]}, \quad (1.8)$$

kde:  $L$  [mm] - dráha nástroje,  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky obrobku,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku.

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]}, \quad (1.9)$$

kde:  $l$  [mm] - délka soustružené plochy,  
 $l_n$  [mm] - délka náběhu,  
 $l_p$  [mm] - délka přeběhu.

Výpočet pro čelní soustružení:

Při výpočtu jednotkového strojního času je nutno rozlišit soustružení při konstantních otáčkách a soustružení konstantní řeznou rychlostí. Při konstantních otáčkách se jednotkový strojní čas počítá dle vztahu (1.8, 1.9). Pro konstantní řeznou rychlost platí vztahy [2]:

$$t_{ASv} = \frac{\pi \cdot [(D_{max} + 2 \cdot l_n) - (D_{min} + 2 \cdot l_p)]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \text{ [min]}, \quad (1.10)$$

kde:  $v_c$  [ $\text{m min}^{-1}$ ] - řezná rychlost,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku.

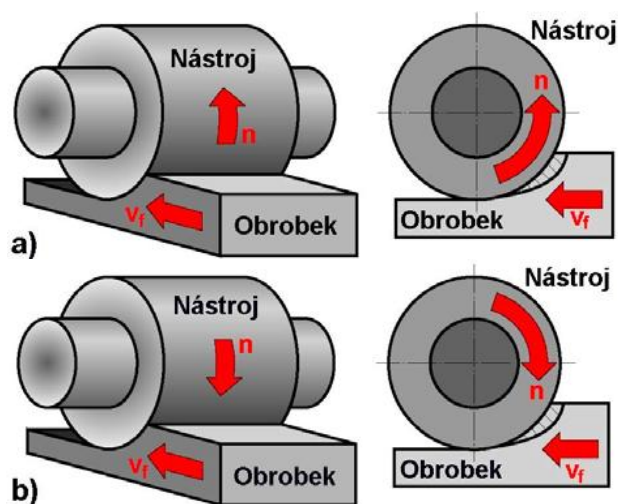
## Frézování

Frézování je operace třískového obrábění, při které je materiál odebírán vícebřitým rotujícím nástrojem (frézou). Tříska při frézování přerušovaná a mění svůj průřez [2,4].

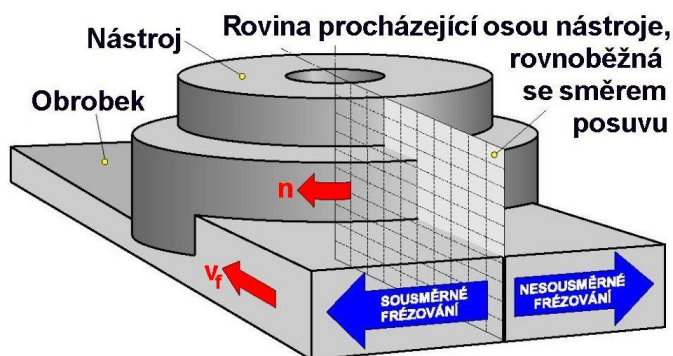
Frézování dělíme na válcové (Obr. 1.6), čelní (Obr. 1.7), planetové a okružní. U válcového frézování rozlišuje frézování sousledné (Obr. 1.6 a) a nesousledné (Obr. 1.6 b) [2,4].

Při sousledném frézování nástroj rotuje ve směru posuvu. Tříska jde od maxima, při vnikání do záběru, po minimum na konci řezu. Řezné síly působí směrem do stolu. Při nesousledném frézování nástroj rotuje proti směru posuvu. Tříska je tvořena od nuly do maximálního průřezu třísky na konci řezu. Jedna složka řezné síly působí nahoru, proto je potřeba při nesousledném frézování důslednější upnutí obrobku [2,4].

Čelní frézování se dle polohy osy frézy dělí na souměrné a nesouměrné, kdy osa nástroje prochází mimo osu obrobku. Při čelním frézování se frézuje zároveň sousledně i nesousledně [2,4].



Obr. 1.6 Válcové frézování [2]:  
a) nesousledné, b) sousledné



Obr. 1.7 Čelní frézování [2]

### Řezný pohyb:

Hlavní pohyb koná fréza a tento pohyb je rotační. Vedlejší pohyb je posuvový a koná jej většinou obrobek. Pro řeznou rychlost a posuvovou rychlost platí vztahy [2]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot min^{-1}], \quad (1.11)$$

kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné plochy,  
 $n$  [ $min^{-1}$ ] - otáčky obrobku.

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n [mm \cdot min^{-1}], \quad (1.12)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $f_n$  [mm] - posuv na otáčku,  
 $z$  [-] - počet zubů,  
 $n$  [ $min^{-1}$ ] - otáčky obrobku.

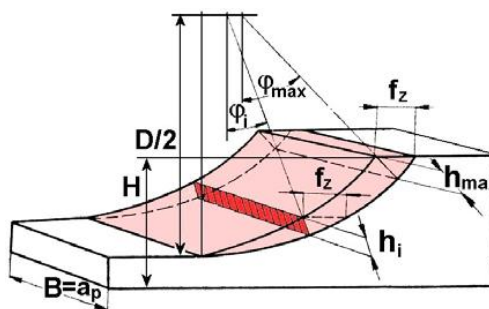
### Průřez třísky:

Při sousledném frézování se tříska tvoří od maximální hodnoty do nuly a u nesousledného frézování od nuly do maximální hodnoty. Pro vyjádření jmenovité tloušťky třísky  $h_i$  v libovolném fázi řezu platí vztah [2]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i [mm], \quad (1.13)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $\varphi_i$  [°] - úhel posuvového pohybu.

Výpočet jmenovitého průřezu třísky  $A_{Di}$  pro válcové frézování dle obrázku č. 1.8 [2]:



Obr. 1.8 Průřez třísky při válcovém frézování [2]

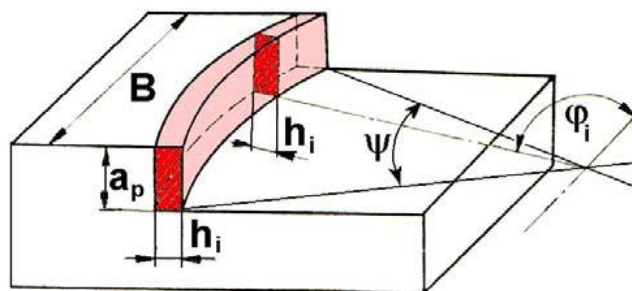
$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i [mm^2]. \quad (1.14)$$

Pro maximální jmenovitý průřez třísky  $A_{Dmax}$  platí, že  $\varphi_i = \varphi_{max}$ :

$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{max} [mm^2], \quad (1.15)$$

kde:  $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $h_i, h_{max}$  [mm] - výška třísky,  
 $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $\varphi_i, \varphi_{max}$  [°] - úhel posuvového pohybu.

Výpočet jmenovitého průřezu třísky  $A_{Di}$  pro čelní frézování podle obrázku č. 1.9 je také ovlivněn úhlem nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  [2,4].



Obr. 1.9 Průřez třísky při čelním frézování [2]

Vztahy pro výpočet jmenovitého průřezu třísky  $A_{Di}$  [2]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \text{ [mm]}, \quad (1.16)$$

$$b_i = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}. \quad (1.17)$$

Platí pro  $\kappa_r = 90^\circ$ :

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (1.18)$$

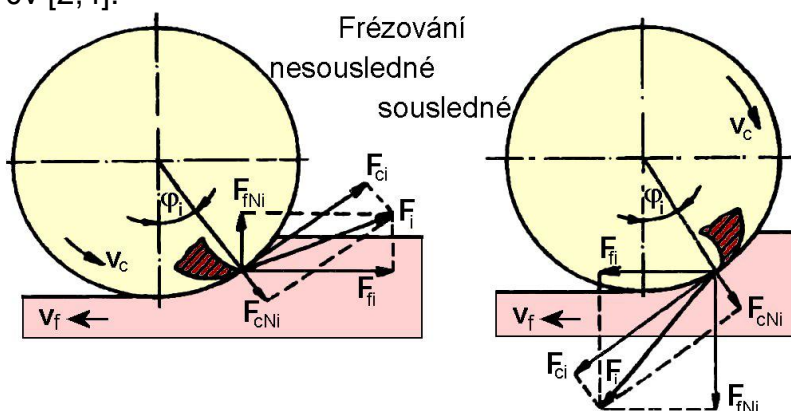
Při  $\varphi_i = 90^\circ$ , je jmenovitý průřez třísky maximální:

$$A_{Dmax} = a_p \cdot f_z \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (1.19)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $b_i$  [mm] – šířka třísky  
 $h_i, h_{max}$  [mm] – výška třísky při,  
 $\varphi_i, \varphi_{max}$  [°] – úhel posuvového pohybu,  
 $\kappa_r$  [°] – úhel nastavení hlavního ostří.

### Řezné síly:

Výpočet řezné síly u frézování se skládá z jednotlivých silových účinků na každý břit, který je v záběru. Rozklad řezné síly u válcového frézování na obrázku č. 1.10v [2,4].



Obr. 1.10 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině  $P_{fe}$  [2]

$F_i$  - celková řezná síla,  $F_{ci}$  - řezná síla,  $F_{cNi}$  - kolmá řezná síla,  
 $F_{fi}$  - posuvová síla,  $F_{fNi}$  - kolmá posuvová síla

---

Výpočet řezné síly při válcovém frézování [2]:

Síla pro jeden břit:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]}, \quad (1.20)$$

kde:  $k_{ci}$  [MPa] – měrná řezná síla,

$A_{Di}$  [mm] – průřez třísky,

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \text{ [MPa]}, \quad (1.21)$$

kde:  $C_{Fc}$  [-] - konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

$x$  [-] - exponent vlivu tloušťky třísky.

Celková řezná síla [2]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} \text{ [N]}. \quad (1.22)$$

Počet zubů v záběru [2]:

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (1.23)$$

kde:  $\varphi_{max}$  [°] - maximální úhel posuvového pohybu,

$z$  [-] - počet zubů (břitů) frézy.

Výpočet řezné síly při čelním frézování [2]:

Síla pro jeden břit:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]}, \quad (1.24)$$

kde:  $k_{ci}$  [MPa] – měrná řezná síla,

$A_{Di}$  [mm] – průřez třísky,

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r)^{1-x}} \text{ [MPa]}, \quad (1.25)$$

kde:  $C_{Fc}$  [-] - konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,

$x$  [-] - exponent vlivu tloušťky třísky.

Celková řezná síla [2]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} \text{ [N]}. \quad (1.26)$$

Počet zubů v záběru [2]:

$$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z \text{ [-]}, \quad (1.27)$$

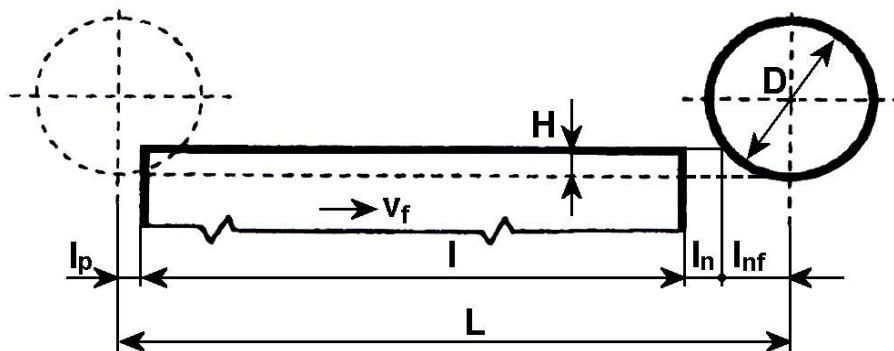
kde:  $\psi$  [°] - úhel záběru frézy,

$z$  [-] - počet zubů (břitů) frézy.

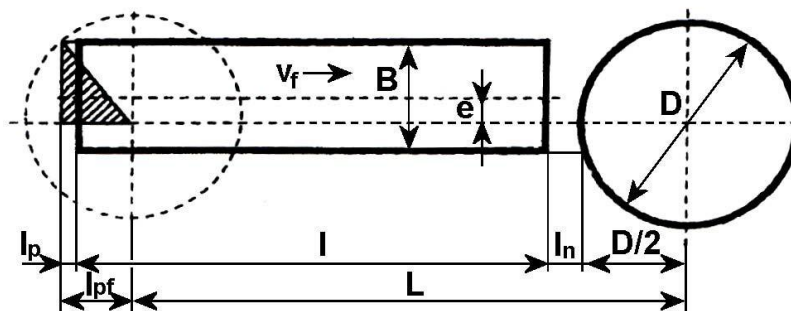


### Jednotkový strojní čas:

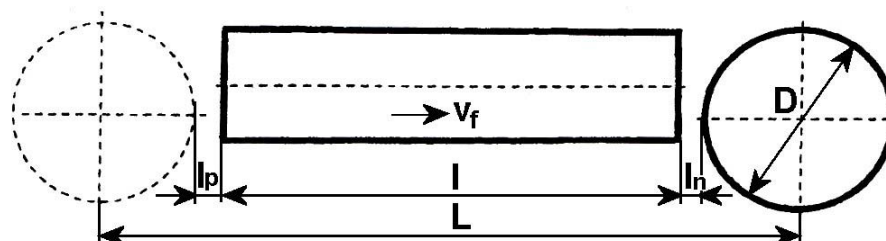
Vzorec pro výpočet jednotkového strojního času  $t_{AS}$  je jednotný pro válcové i čelní frézování, čas se liší pouze délkou dráhy frézovaného úseku  $L$ . Pro válcové frézování se délka počítá podle obrázku č. 1.11, pro čelní frézování na hrubo podle obrázku č. 1.12 a pro čelní frézování načisto podle obrázku č. 1.13 [2,4].



Obr. 1.11 Dráha frézy pro válcové frézování [2]



Obr. 1.12 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [2]



Obr. 1.13 Dráha frézy pro čelní frézování načisto asymetrické [2]

Vztah pro výpočet jednotkového strojního času [2]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}], \quad (1.28)$$

kde:  $L$  [mm] – délka dráhy frézovaného úseku,  
 $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] – posuvová rychlost.

Vztah pro výpočet dráhy  $L$  pro válcové frézování (Obr. 1.11) [2]:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} [\text{mm}], \quad (1.29)$$

kde:

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} [\text{mm}], \quad (1.30)$$



---

Vztah pro výpočet dráhy L pro čelní frézování na hrubo (Obr. 1.12) [2]:

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} [mm], \quad (1.31)$$

kde:

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} [mm], \quad (1.32)$$

Vztah pro výpočet dráhy L pro čelní frézování na čisto (Obr. 1.13) [2]:

$$L = l + l_n + l_p + D [mm], \quad (1.33)$$

kde:  $l$  [mm] - délka frézované dráhy,

$l_n$  [mm] - délka náběhu frézy,

$l_p$  [mm] - délka přeběhu frézy,

$D$  [mm] - průměr frézy,

$B$  [mm] - délka frézované dráhy.

### Nástroje pro frézování:

Nástroje pro frézování se mohou dělit podle mnoha kritérií. Základní rozdělení je dle umístění zubů na frézy válcové, válcové čelní (Obr. 1.14 a), čelní (Obr. 1.14 b), kotoučové, úhlové a tvarové. Dále je můžeme rozdělit na pravořezné a levořezné nebo podle způsobu výroby na monolitní (Obr. 1.14 a), s vyměnitelnými břitovými destičkami (Obr. 1.14 b), složené a dělené. Podle materiálu dělíme frézy z rychlořezné oceli, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu. Další rozdělení například podle počtu zubů na hrubozubé, polohrubozubé a jemnozubé [2,4].



a)



b)

Obr. 1.14 Příklady fréz:  
a) monolitní fréza čelní válcová [5], b) čelní fréza s VBD [6]

## Vrtání

Vrtání je operace třískového obrábění, při které jsou otvory vyráběny do plného materiálu nebo do předpracované díry pomocí vrtáku. Hlavní pohyb koná nástroj a jedná se o pohyb rotační a vedlejší posuvový pohyb koná taktéž nástroj. Osa nástroje je ve většině případů kolmá na obráběnou plochu [3,4].

Charakteristickým prvkem vrtáků je zmenšující se řezná rychlost směrem od vnějšího průměru do středu nástroje. V ose nástroje je řezná rychlost tedy nulová [3,4].

### Řezný pohyb:

Řezný pohyb  $v_e$  se skládá ze dvou složek, z řezné rychlosti  $v_c$  a posuvové rychlosti  $v_f$  [3].

Vztahy pro výpočet řezného pohybu [3]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [m \cdot min^{-1}], \quad (1.34)$$

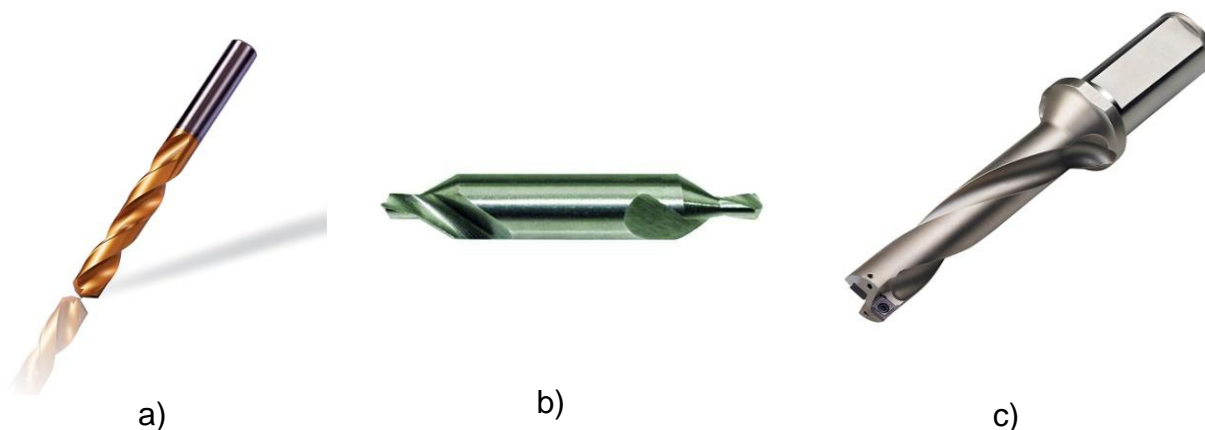
$$v_f = f \cdot n [mm \cdot min^{-1}], \quad (1.35)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 1000 \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} [m \cdot min^{-1}], \quad (1.36)$$

kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné plochy,  
 $n$  [ $min^{-1}$ ] - otáčky obrobku,  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.

### Nástroje pro vrtání:

Nejčastěji používaným nástrojem při vrtání je dvoubřitý šroubovitý vrták (Obr. 1.15 a). Tělo vrtáku je tvořeno dvěma protilehlými šroubovitými drážkami, které slouží pro odvod třísky ze záběru. Úhel šroubovitě drážky se liší podle vrtaného materiálu. Úhel špičky pro běžné oceli je  $118^\circ$  pro vrtáky z rychlořezné oceli a pro monolitní vrtáky ze slinutého karbidu bývá nejčastěji úhel špičky  $140^\circ$ . Dalšími vrtacími nástroji jsou například středící vrták (Obr. 1.15 b), vrták s pájenými destičkami, vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami (Obr. 1.15 c), kopinaté vrtáky, dělové vrtáky, korunkové vrtáky, ejektorové vrtáky a další. Výjimku tvoří termální tvářecí vrták pro obrábění tenkých plechů a tenkostěnných profilů, tento vrták nemá žádný břit a jedná se o kuželový hrot ze slinutého karbidu [3,4].

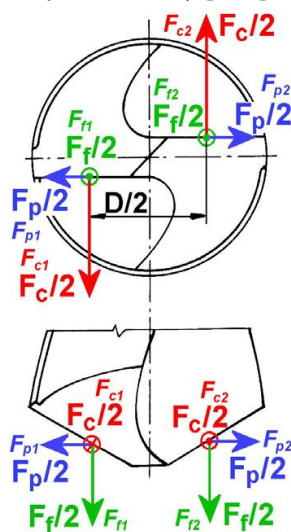


Obr. 1.15 Příklady vrtacích nástrojů:

a) šroubovitý vrták [8], b) středící vrták [7], c) vrták s VBD [8]

Řezné síly:

Při vrtání standardním dvoubřitým šroubovitým vrtákem dochází k odebrání materiálu současně oběma břity. Výsledné síly na vrtáku se vypočítají součtem nebo rozdílem jejich jednotlivých složek (Obr. 1.16) [3,4].



Obr. 1.16 Síly při vrtání [3]

Vztahy pro výpočet sil při vrtání [3]:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \text{ [N]}, \quad (1.37)$$

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \text{ [N]}, \quad (1.38)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \text{ [N]}, \quad (1.39)$$

Pro  $F_p$  platí, že  $F_{p1} = F_{p2} \rightarrow F_p = 0$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \text{ [N]}, \quad (1.40)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \text{ [N]}, \quad (1.41)$$

kde:  $C_{Fc}$ ,  $C_{Ff}$ ,  $C_{Fp}$  [-] – materiálové konstanty,

$x_{Fc}$ ,  $x_{Ff}$ ,  $x_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu  $a_p$ ,

$y_{Fc}$ ,  $y_{Ff}$ ,  $y_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu  $f$ ,

$D$  [mm] – průměr vrtáku,

$f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku.

Jednotkový strojní čas:

Jednotkový strojní čas je stanoven dle obrázku č. 1.17 a pro výpočet platí vztah [3]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]}, \quad (1.42)$$

kde:  $l$  [mm] - délka vrtané díry,

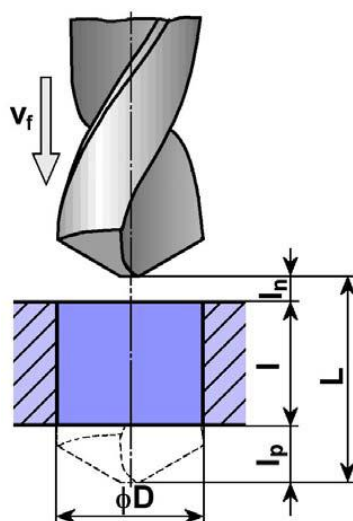
$l_n$  [mm] - délka náběhu vrtáku,

$l_p$  [mm] - délka přeběhu vrtáku,

$v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] – posuvová rychlost,

$n$  [min<sup>-1</sup>] - otáčky vrtáku,

$f$  [mm] - posuv na otáčku.



Obr. 1.17 Dráhy při vrtání [3]

### 1.3.2. Druhy výroby dle sériovosti

Výrobu lze rozdělit dle mnoha kritérií. Jedním z nich je sériovost výroby, kdy každý druh má své specifické požadavky na strojové vybavení, kvalifikaci obsluhy strojů, použitých nástrojů, použitého polotovaru a mnoho dalších kritérií. Rozdělení výroby dle sériovosti je v tabulce č. 1.1.

Tab. 1.1 – Druhy výroby [18]

	Druh výroby		
	Kusová, malosériová	Sériová	Hromadná
Počet kusů [ks]	1÷100	100÷10000	>10000
Sortiment druhů výrobků [-]	>50	5÷50	<5
Obráběcí stroje	Univerzální, výjimečně speciální NC stroje na velké dílce apod.	Poloautomatické a Automatické obráběcí stroje, univerzální vybavení, speciální přípravky.	Automatické linky s jednoúčelovými stroji.
Kvalifikace obsluhy	Vysoce kvalifikovaná obsluha pro konkrétní stroj.	Kvalifikovaní seřizovači, zaučení se znalostí obsluhy stroje.	Obsluha bez potřeby vyšší kvalifikace, nutnost vysoce kvalifikovaného seřizovače.
Nástroje	Standardní, výjimečně speciální.	Převážně speciální, standardní.	Převážně speciální, standardní.
Používané polotovary	Normalizované polotovary, výkovky, odlitky s velkými přídávky pro obrábění.	Nenormalizované i normalizované polotovary, zápuskové a rotační výkovky, přesné odlitky.	Nenormalizované polotovary, odlitky z vytavitelných modelů a stříkané, výkovky, speciální profilový materiál aj.

---

## 2. TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ NA NC A CNC STROJÍCH

Nedílnou součástí většiny strojírenských firem v současnosti je používání NC a CNC obráběcích strojů s řídicím systémem. Mezi nejčastěji používanými řídicími systémy jsou Heidenhain nebo Sinumerik. Výroba součástí je prováděna dle předem připraveného programu, který je vytvořen v nějakém softwaru. Program se vytváří buď ručně pomocí editorů nebo strojně pomocí CAD/CAM systémů.

### 2.1. Historie programování NC a CNC strojů pomocí CAD/CAM

Ve světě se začátky CAD systémů datují do roku 1950, kdy bylo vytvořeno světelné pero, které fungovalo na principu elektrostatického zachycení obrazu na stínítko obrazovky (Obr. 2.1) [9].



Obr. 2.1 Světelné pero [10]

V roce 1962 vytvořil na principu světelného pera student Ivan Sutherland kreslicí program Sketchpad, který je mnohdy považován za začátek historie CAD.[x]

Od roku 1978 se v programech začala používat rastrová grafika, která nahradila dříve používanou vektorovou grafiku [9,11].

V roce 1980 se objevují v programu ARCH MODEL první modely s trojrozměrnou grafikou ploch, předtím byly modely pouze v drátěné podobě.[x]

Později se začínají objevovat grafické editory jako AutoCAD, VersaCAD nebo CADkey, které zvládají náročné opakující se výpočty transformací grafických souřadnic [9,11].

V Československu se vývojem CAD/CAM systémů zabýval státní podnik Kovosvit Sezimovo Ústí na počítačích Hewlett Packard. V roce 1989 přišli se systémem Kovoprog [9,11].

### 2.2. Ruční vs. strojní programování

Programování NC a CNC strojů lze rozdělit do dvou kategorií. První variantou je ruční programování, kde dráhy nástroje jsou zapisovány ručně pomocí editoru. Druhou variantou je strojní programování, kdy pomocí softwaru jsme schopni si dráhy nástroje vygenerovat.

---

### 2.2.1. Ruční programování

Pod pojmem ruční programování si každý představí tvorbu programu pomocí nějakého jednoduchého programu či textového editoru, ve kterém se program zapisuje ručně dle předem daného schématu například pomocí tzv. ISO kódů. Tyto kódy jsou normalizované a jejich norma je ISO 6983.

Jednotlivé NC programy se svojí stavbou liší dle softwaru, ve kterém je program tvořen. NC program můžeme rozdělit do dvou částí:

1. Název programu - většinou se označuje pomocí symbolu "%" (př. %0001).
2. Obsahová část - se skládá z řádků tzv. bloků. Každý blok se skládá z jednotlivých příkazů (slov), tyto příkazy jsou označeny velkými písmeny a jejich řazení do bloků je předem dáno ISO normou. Popis jednotlivých příkazů viz Tab. 2.1 [2,12,13].

Tab. 2.1 Struktura bloku [12,13]

Příkaz	Popis příkazu
N	Číslo bloku
G	Přídavná funkce
X,Y,Z	Souřadnice
F	Rychlost posuvu
S	Otáčky vřetene
T	Volba nástroje
D	Korekce nástroje
M	Pomocná funkce

Každý z výše uvedených příkazů se udává s nějakou číselnou hodnotou. Buď toto číslo udává konkrétní hodnotu pro daný příkaz, nebo příslušný příkaz má specifický význam pro danou funkci. Viz níže rozbor jednotlivých příkazů [2,12,13].

#### N – číslo bloku:

Udává číslo řádku. Tento příkaz není nutné používat, ale doporučuje se pro lepší orientaci v programu. Pro snadnější úpravy programu se nedoporučuje číslovat řádky postupně (př. N1, N2, N3, ...), ale s většími rozestupy (př. N10, N20, N30, ...) [12,13].

#### G – přídavná funkce:

Tyto funkce se používají spolu se souřadnicemi X, Y, Z. Tyto funkce definují pohyby nástrojů, jako jsou rychlosti posuvů, korekce nástrojů, posunutí nulových bodů nebo způsob programování souřadnic bodů.

G – funkce jsou rozděleny do několika skupin dle jejich použití. Z těchto skupin může být použita v jednom bloku pouze jedna G – funkce (př. nemůžeme použít G90 – absolutní programování a G91 – inkrementální programování).

G – funkce mohou být modální i nemedální. Modální znamená, že po vyvolání na určitém řádku platí jak v tomto řádku, tak i v řádcích dalších dokud tato funkce není jinou G – funkcí ze stejné skupiny změněna. Přehled základní G – funkcí viz Tab. 2.2 [12,13].

Tab. 2.2 Přehled základní G – funkcí [12,13]

G - funkce	Popis funkce
G00	Pohyb rychloposuvem
G01	Pohyb pracovním posuvem
G02	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G04	Prodleva
G17	Volba pracovní roviny XY při programování 2,5D
G18	Volba pracovní roviny XZ při programování 2,5D
G19	Volba pracovní roviny YZ při programování 2,5D
G40	Korekce nástroje zrušena
G41	Korekce nástroje zleva (vlevo od kontury)
G42	Korekce nástroje zprava (vpravo od kontury)
G53	Zrušení posunutí nulového bodu
G54-G59	Posutí nulových bodů
G70	Programování v palcích
G71	Programování v milimetrech
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální (přírůstkové) programování
G94	Posuv za minutu
G95	Posuv na otáčku
G96	Konstantní řezná rychlost při soustružení
G97	Konstantní otáčky při soustružení

F – rychlost posuvu:

Udává pracovní posuv nástroje, kterým se po vyvolání funkce G01 pohybuje nástroj. Rychlost posuvu se většinou udává v milimetrech za minutu [12,13].

S – otáčky vřetene:

Otáčky se zadávají buď při použití funkce G96 v metrech za minutu nebo při funkci G97 v otáčkách za minutu. Použití konstantní řezné rychlosti se využívá při čelním soustružení, kdy se nám mění soustružený průměr a tím se nám mění otáčky vřetene [12,13].

M – pomocná funkce:

Tyto funkce vyjadřují činnost CNC stroje jako je spouštění otáček nebo chlazení, vyvolání podprogramu nebo ukončení programu. Základní M – funkce využívá většina systémů, ale ostatní M – funkce se často liší dle výrobce. Přehled základní M – funkcí viz Tab. 2.3 [12,13].

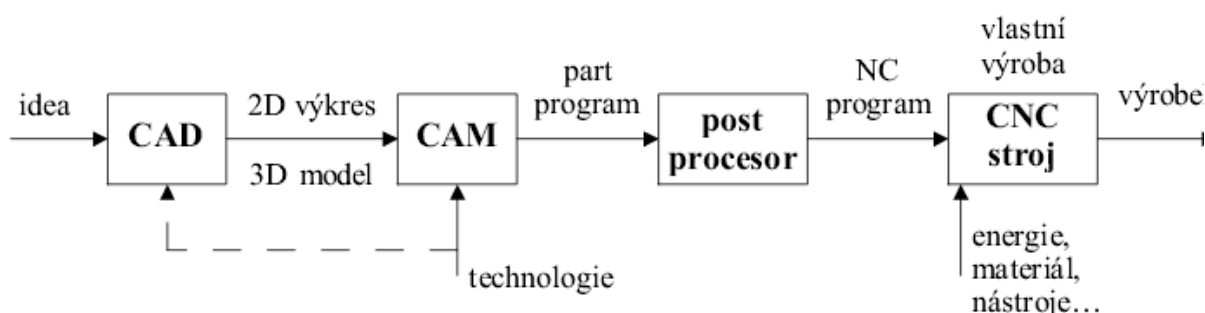


Tab. 2.3 Přehled základní M – funkcí [12,13]

M - funkce	Popis funkce
M00	Nepodmíněný stop programu
M03	Roztočení vřetena po směr hodinových ručiček
M04	Roztočení vřetena proti směr hodinových ručiček
M05	Zastavení vřetena
M06	Výměna nástroje
M07	Zapnutí chlazení vzduchem
M08	Zapnutí chlazení procesní kapalinou
M09	Vypnutí chlazení
M17	Konec podprogramu
M30	Konec programu

### 2.2.2. Strojní programování

Strojní programování se provádí za pomoci CAD/CAM systémů. Schéma postupu výroby součásti (Obr. 2.2).



Obr. 2.2 Schéma výroby pomocí CAD/CAM [12]

Výroba zvolené součásti na CNC stroji pomocí strojního programování probíhá dle schématu ve čtyřech krocích:

1. CAD:  
z výrobní dokumentace za pomoci CAD systému je vytvořen 3D model, který je následně použit v kroku č. 2.
2. CAM:  
po vytvoření 3D modelu je tento model otevřen v CAM softwaru. Následně pomocí příkazů je nadefinujeme technologii výroby, jako je polotovár, nástroje, obráběcí operace, přídavky atd., které aplikujeme na vytvořený model.
3. Post-procesor:  
po vytvoření celé obráběcí operace je za pomoci příslušného part-programu vytvořen NC kód, který je následně přenesen do CNC stroje.
4. CNC stroj:  
program vytvořený v CAM softwaru pomocí part-programu již může sloužit pro obrábění součástí.



## 2.3. Používaný software ve firmě pro tvorbu programů

Ve firmě jsou používány dva software pro tvorbu programů. První software Kovoprog pro NC soustruhy a NC vrtáčku. Druhý software ABC editor pro CNC frézovací stroje.

### 2.3.1. Kovoprog

Tento software je ve firmě používán od samého vzniku. Vzhledem k tehdejší nedokonalostem byl našimi pracovníky zdokonalován ve spolupráci s pány Peškem a Brtnou. Byly vytvořeny a upraveny používané makra pro tvorbu programů.

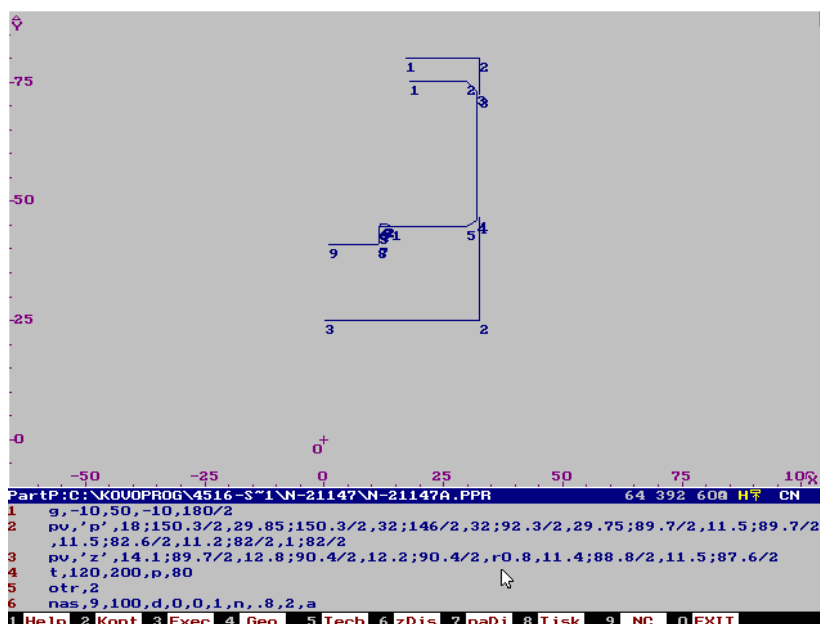
Ve firmě v současné době používáme stále původní 2D software z roku 1991 (Obr. 2.3).

Jeho vývojem a distribucí se zabývá firma Peška & Brtna Computer Service s.r.o. se sídlem v Táboře [14].

CAD/CAM systém Kovoprog slouží k přípravě programů pro obrábění na NC a CNC obráběcích strojích bez podpory práce s modely. Pro práci s modely nabízí CAD/CAM systém PEPS [14].

V současné době je CAD/CAM systém Kovoprog dostupný ve třech základních modulech:

- Třískové obrábění - soustružení s vodorovnou i svislou osou včetně naháněných nástrojů.
- Třískové obrábění - 2.5 D frézování a vrtání.
- Drátové řezání - obrábění na elektroerozivních vyřezávacích strojích [14].



Obr. 2.3 Kovoprog

### Princip tvorby programu:

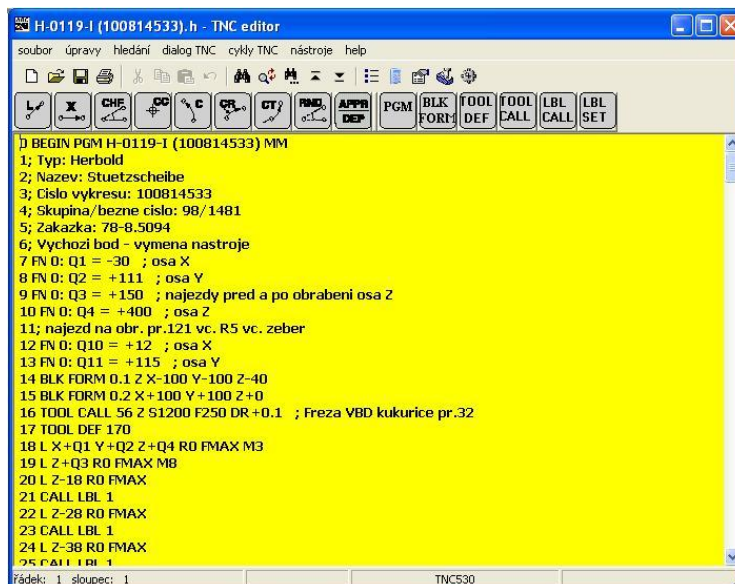
Pro tvorbu programu se využívá partprogramu, který se vytváří pomocí předdefinovaných maker. Tyto makra jsou vybaveny nápovědou, která intuitivně uživateli radí, co do příslušného řádku vepsat. Z partprogramu se pomocí zvoleného postprocesoru vygeneruje požadovaný program. Dále dle partprogramu je možno si vygenerovat nástrojový a seřizovací list.

Příklad partprogramu je ukázán v příloze č.4.

### 2.3.2. ABC Editor

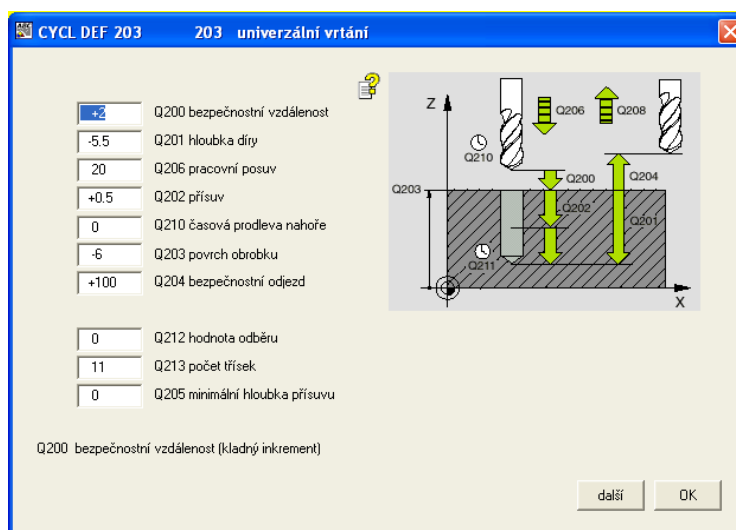
Jde o textový editor, který slouží k programování frézovacích strojů se systémem Heidenhain 530D.

Program se vytváří stejným principem jako při vytváření přímo na stroji. Program využívá stejných ovládacích tlačítek, jako jsou na panelu obsluhy stroje (obr. 2.4).



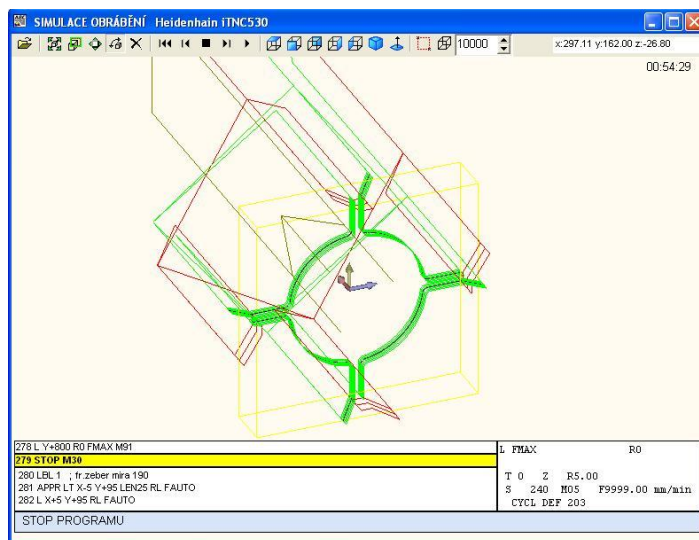
Obr. 2.4 ABC editor

Jednotlivé obráběcí cykly se vyplňují v tabulkovém režimu (obr. 2.5), kde je vše podrobně i s nápovědou popsáno, co uživatel má do příslušných políček vložit. Jsou zde vrtací, závitovací, frézovací, transformační a speciální cykly.



Obr. 2.5 Vrtací cyklus

Simulace v tomto programu není zcela přehledná, dráhy jednotlivých nástrojů jsou rozlišeny různými barvami (obr. 2.6). Slouží jen pro přibližnou kontrolu obráběné součásti, protože ne vždy koresponduje simulace v programu se simulací na stroji.



Obr. 2.6 Simulace programu

## 2.4. Strojní park firmy s řídicími systémy

Ve firmě jsou používány stroje s řídicím systémem pro frézovací, vrtací a soustružnické operace. Používají se stroje se systémy Tesla, Heidenhain a Mazatrol.

### 2.4.1. Frézovací operace

Frézovací operace jsou s výjimkou jednoho stroje od firmy Mazak prováděny na strojích s řídicím systémem Heidenhain.

#### Tajmac-ZPS MCFV 2080

Nejnovější stroj ve firmě. Jedná se o vertikální obráběcí centrum s řídicím systémem Heidenhain 530D (Obr. 2.7). Stroj je vybaven zásobníkem na 24 nástrojů a měřicími sondami pro odměřování nástrojů a obrobku od firmy Renishaw. Ostatní parametry stroje uvedeny v příloze č. 5 [15].



Obr. 2.7 Tajmac-ZPS MCFV 2080 [16]

---

## **TOS Kuřim FS 80**

Jedná se o prototypní stroj z TOS Kuřim, který firma zakoupila na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain 530D. Stroj je vybaven otočnou hlavou, která může plnohodnotně sloužit i pro horizontální frézování (Obr. 2.8).



Obr. 2.8 FS 80 G – TOS Kuřim

## **FNG 30 CNC**

Jde o nástrojařskou frézku pro drobné frézovací a vrtací operace. Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain 155 (Obr. 2.9).



Obr. 2.9 FNG 30 CNC



---

### **Mazak VQC 20/40 B**

Stroj od japonské firmy Mazak se systémem Mazatrol CAM-M2, který firma nedávno pořídila z druhé ruky a využívá se především pro sériovou výrobu z důvodu automatické výměny nástrojů se zásobníkem na 30 nástrojů (obr. 2.10).



Obr. 2.10 Mazak VQC 20/40 B

### **WHN 13 CNC**

Horizontální fréza se řídicím systémem Heidenhain 355 se díky 4.ose - B využívá pro obrábění velkých skříňových součástí (Obr. 2.11).



Obr. 2.11 WHN 13 CNC

---

#### 2.4.2. Soustružnické operace

Pro soustružnické operace se ve firmě používají poloautomatické soustruhy SPT 16 NC a SPT 32 NC s řídicími systémy od firmy Tesla.

##### SPT 16 NC

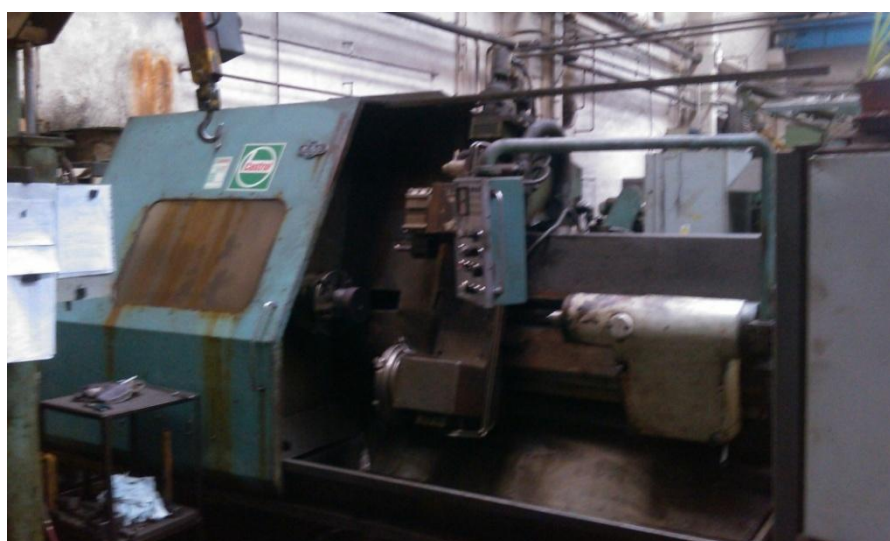
Jedná se o poloautomatický hrotový soustruh s řídicím systémem Tesla. Používá se pro obrábění přírubových součástí do průměru 160 mm, součástí z tyčového materiálu do maximálního průměru 60 mm a hřídelových součástí do maximální délky 500mm (Obr. 2.12).



Obr. 2.12 SPT 16 NC

##### SPT 32 NC

Tento poloautomatický hrotový soustruh s řídicím systémem Tesla se používá se pro obrábění přírubových součástí do průměru 320 mm a hřídelových součástí do maximální délky 1000mm (Obr. 2.13).



Obr. 2.13 SPT 32 NC

---

### 2.4.3. Vrtací operace

Vrtací operace jsou prováděny na stroji VR5 NC od firmy Kovosvit MAS ze Sezimova Ústí.

#### VR5 NC

Tento stroj je vybaven řídicím systémem Tesla NS 632A (obr. 8.). Používá se obrábění otvorů do průměru 50 mm. Dále se zde provádí obrábění kalibrických otvorů, zahlubování a řezání závitů (Obr. 2.14).



Obr. 2.14 VR5 NC

---

### 3. TECHNOLOGIE VÝROBY ZVOLENÉ SOUČÁSTI

Na vybrané součásti byly zvoleny tři typy technologie výroby, které budou porovnány. První varianta technologie výroby je na klasických obráběcích strojích a druhá varianta na NC a CNC strojích s řídicími systémy. Obě varianty budou řešeny z hlediska efektivnosti, rychlosti a kvality výroby. Dále budou vyhodnoceny ekonomické náklady na výrobu u obou variant.

#### 3.1. Varianta I. – výroba na klasických obráběcích strojích

Veškeré operace dle technologického postupu jsou možné v podmínkách firmy vyrobit na klasických obráběcích strojích.

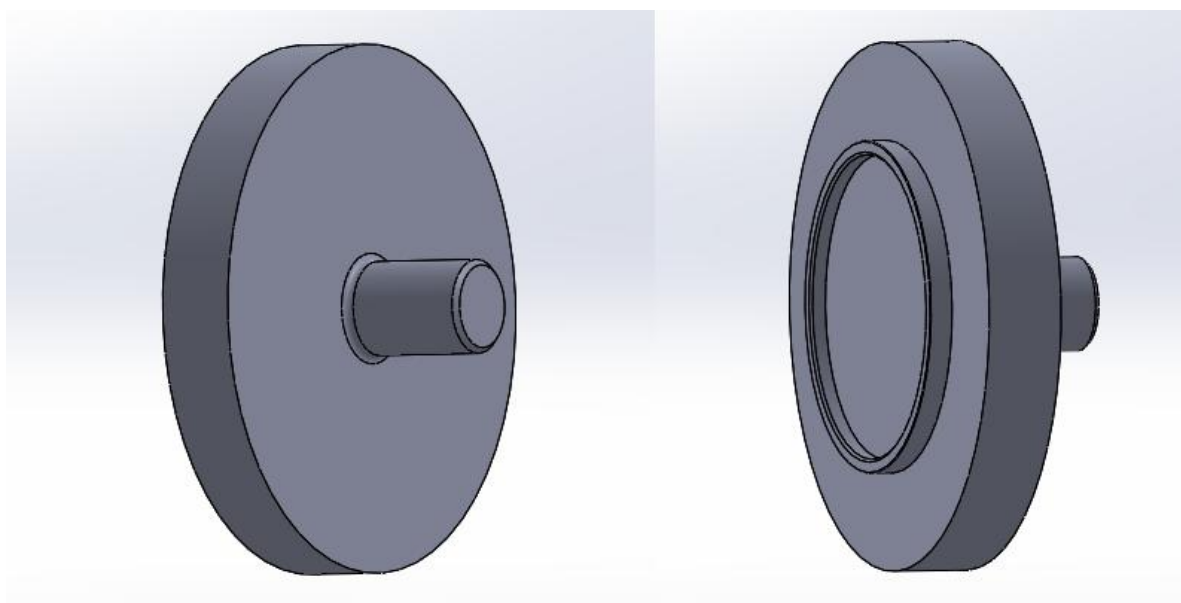
##### 3.1.1. Operace č. 10 – řezání

Řezání polotovaru na délku 90 mm je prováděno na pásové pile od firmy Bomar.

##### 3.1.2. Operace č. 20 – soustružení

Pro soustružení byl zvolen soustruh klasický hrotový soustruh SV 18R/1000 od firmy TOS Trenčín. Na obrázku 3.1 je vidět přibližný tvar obrobku po operaci č. 20. Popis prováděných úkonů v operaci:

- Zarovnat první čelo,
- soustružit  $\varnothing 191$  mm v délce 37 mm,
- soustružit  $\varnothing 120$  h9 s přídávkem na  $\varnothing 121$  mm v délce 8,5 mm,
- soustružit  $\varnothing 110^{+0,1}_{+0,05}$  s přídávkem na  $\varnothing 109$  mm v délce 6 mm,
- otočit kus,
- soustružit druhé čelo na délku 84,5 mm,
- zavrtat středící důlek  $\varnothing 2$  mm,
- soustružit  $\varnothing 34^{0}_{-0,2}$  na  $\varnothing 34,45$  mm v délce 47,5 mm včetně rádiusu R3,
- soustružit hranu  $2 \times 45^\circ$  s ohledem na přídavek pro broušení.



Obr. 3.1 Obrobek po operaci č. 20



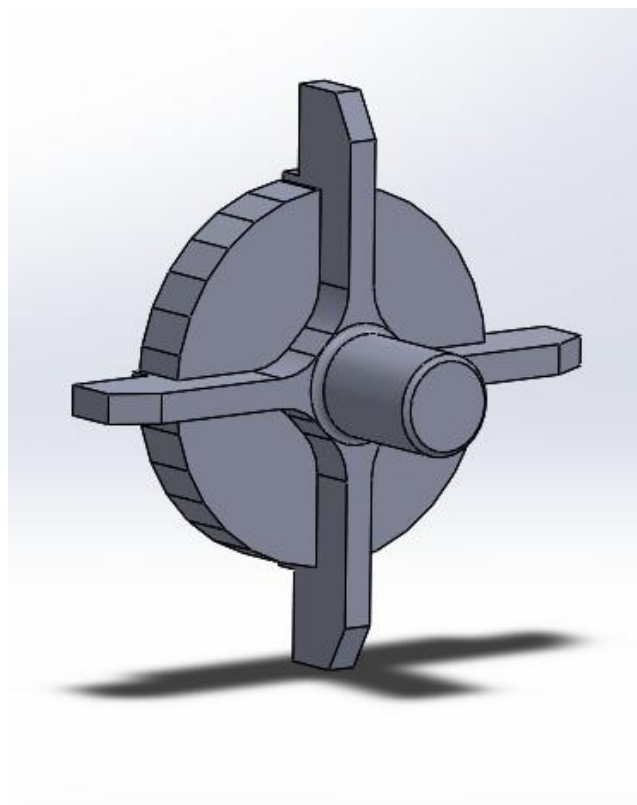
---

### 3.1.3. Operace č. 40 – frézování (předhrubování)

Pro tuto operaci byla zvolena ze strojového parku firmy frézka univerzální FG 32 U, která se používá převážně pouze na hrubovací operace, zuhlování polotovarů pro další operace nebo na srážení hran pro svařované díly. Na obrázku č. 3.2 je vidět přibližný tvar obrobku po operaci č. 40.

Popis prováděných úkonů v operaci:

- Upnout do dělicího přístroje,
- hrubovat 4x žebro na šířku 10 mm k  $\varnothing 125$  mm,
- hrubovat 4x vybrání mezi žebry do hloubky 15 mm,
- srazit 4x hranu  $15 \times 30^\circ$ ,
- odjehlit.



Obr. 3.2 Obrobek po operaci č. 40

### 3.1.4. Operace č. 50 – frézování (hrubování)

Pro tuto operaci byla zvolena ze strojového parku firmy frézka vertikální FGSV 50. Na obrázku č. 3.3 je vidět přibližný tvar obrobku po operaci č. 50, červeně jsou zabarveny plochy s přídávky.

Popis prováděných úkonů v operaci:

- Upnout na přídavný poháněný otočný stůl,
- hrubovat  $\varnothing 120$  h9 s přídávkem na  $\varnothing 121$  mm po celém obvodu přes celou šířku náboje,
- kus otočit,
- frézovat 4x žebra na délku 190 mm,
- frézovat 4x žebra na šířku 8 mm s přechodem 2x R20 a 4HR 35 do hloubky 16 mm,

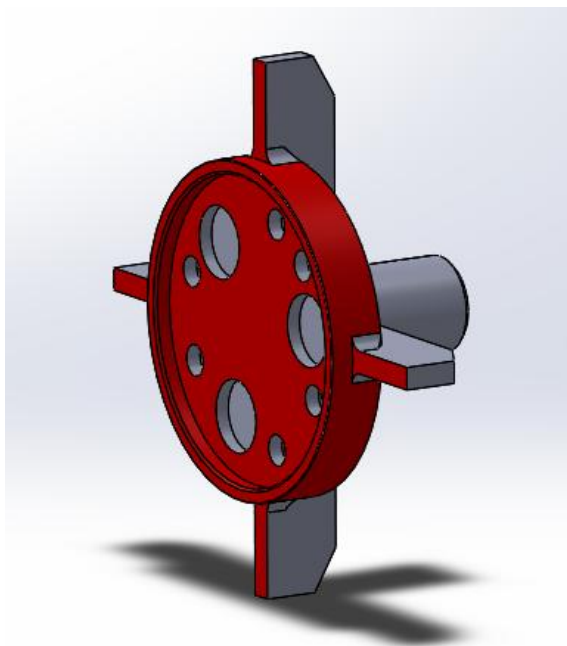
---

### 3.1.5. Operace č. 55 - vrtání

Vrtání otvorů je prováděno na radiální vrtačce VR 4 od firmy Kovosvit MAS, a.s. Pro tuto operaci bylo provedeno rýsování v operaci č. 30. Na obrázku č. 3.3 je vidět přibližný tvar obrobku po operaci č. 55.

Popis prováděných úkonů v operaci:

- Dle rýsování provést 3x zahloubení  $\varnothing 26$  do hloubky 11,5 mm,
- vrtat 6x  $\varnothing 11$ ,
- otočit, zahloubit  $\varnothing 11$  na  $\varnothing 18$  do hloubky 9 mm.



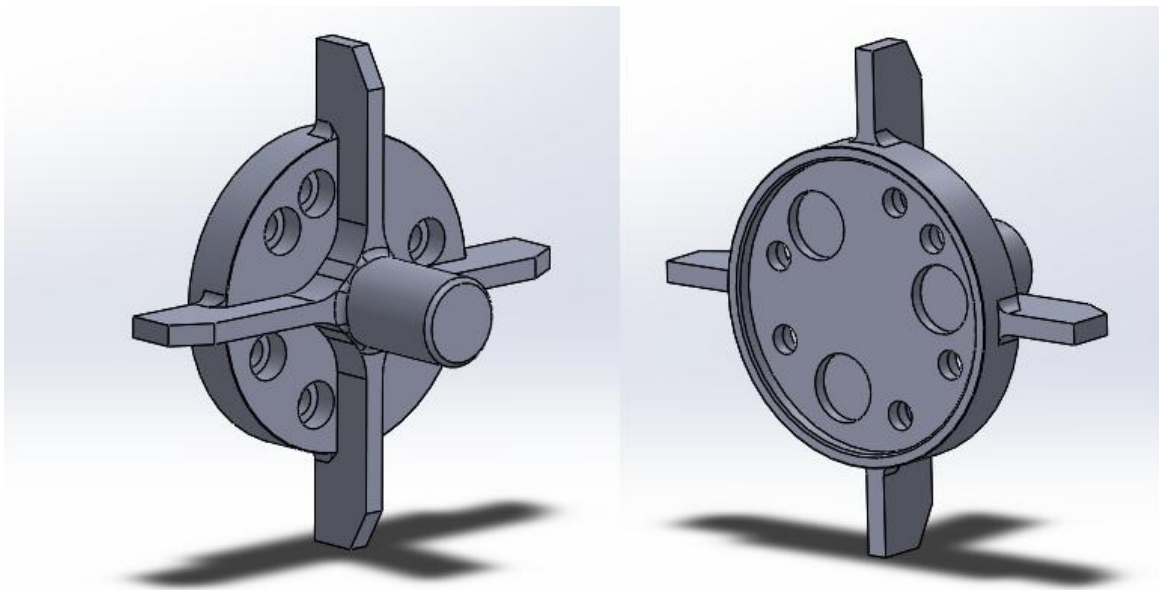
Obr. 3.3 Obrobek po operaci č. 50 a č. 55

### 3.1.6. Operace č. 90 – frézování (dokončení)

Tato operace je prováděna stejně jako operace č. 50 na vertikální frézce FGSV 50. Na obrobku před touto operací bylo provedeno bezokujové kalení a popouštění na tvrdost 51-53 HRC. Na obrázku č. 3.4 je vidět přibližný tvar obrobku po operaci č. 90.

Popis prováděných úkonů v operaci:

- Frézovat hotově čelo na míru 36,5-0,3 mm,
- frézovat hotově  $\varnothing 120$  h9 včetně sražení hrany,
- frézovat  $\varnothing 110^{+0,1}_{+0,05}$  do hloubky 6 mm včetně sražení hrany 1x 45°,
- frézovat žebra na odskok 8,5 mm.



Obr. 3.4 Obrobek po operaci č. 90

### 3.1.7. Operace č. 100 – broušení

Pro brousící operaci je využíváno hrotové brusky 2 UD-750 od firmy TOS Mělník. V této operaci bude provedeno broušení  $\varnothing 34_{-0,2}^0$  mm.

## 3.2. Varianta II. – výroba na NC a CNC strojích

Výrobu na klasických obráběcích strojích je možné nahradit NC a CNC obráběcími stroji a to v případě:

- operace č. 20 – soustružení,
- operace č. 40, 50 a 90 – frézování.

Operace č. 40 a č. 50 lze provést na jednom obráběcím stroji, tudíž je možné operace sloučit.

Operace č. 10 a 100 nelze v podmínkách firmy nahradit NC a CNC stroji. Dále je možno operaci č. 30 odebrat z postupu, protože pro potřeby CNC obráběcího stroje není rýsování nutné.

### 3.2.1. Operace č. 20 – soustružení

Pro soustružení byl zvolen stroj SPT 16 NC (Obr. 2.12 – viz kapitola 2.4.2). Postup výroby je totožný s postupem pro klasický hrotový soustruh.

### 3.2.2. Operace č. 40 – frézování (hrubování)

Pro výrobu operace č. 40 bylo zvoleno vertikální obráběcí centrum MCFV 2080 od firmy Tajmac - ZPS Zlín (Obr. 2.7 – viz kapitola 2.4.1).

### 3.2.3. Operace č. 90 – frézování (dokončení)

Tato operace je prováděna stejně jako operace č. 40 na vertikálním obráběcím centru MCFV 2080.

## 4. ZHODNOCENÍ NÁVRHU VÝROBY

Zhodnocení variant výroby bude provedeno dle druhu obráběcích operací. Vyhodnocení bude provedeno pro soustružnické, frézovací a vrtací operace, u kterých je možno použít jak klasické obráběcí stroje, tak NC a CNC stroje. V každé z operací bude vyhodnocena rychlost, efektivnost a ekonomie jednotlivých druhů výroby. V konečném hodnocení bude zvolena nejvhodnější varianta výroby.

### 4.1. Strojní časy

Prvním kritériem hodnocení návrhu výroby budou strojní časy pro všechny obráběcí stroje pro jednotlivé varianty.

Celkový strojní čas je součet časů jednotkové práce, dávkové práce a směnové práce [2,17]:

$$t = t_A + t_B + t_C \text{ [min]} \quad (4.1)$$

kde:  $t_A$  [min] - čas jednotkové práce,  
 $t_B$  [min] - čas dávkové práce,  
 $t_C$  [min] - čas směnové práce.

$$t_A = t_{AS} + t_{A1} \text{ [min]} \quad (4.2)$$

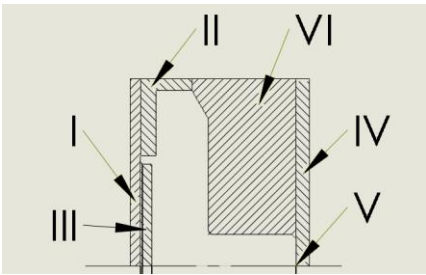
kde:  $t_{AS}$  [min] - jednotkový strojní čas,  
 $t_{A1}$  [min] - jednotkový čas práce.

$$t_C = 1,12 \cdot t_A \text{ [min]} \quad (4.3)$$

### Soustružení

Operace soustružení je rozdělena do šesti úseků (Tab. 4.1). Pro každý úsek bude spočítán strojní čas.

Tab. 4.1 Rozdělení soustružení do úseků

	
Číslo úseku	Popis úseku
I	Zarovnání prvního čela – první upnutí.
II	Soustružení vnějšího průměru – první upnutí
III	Soustružení vnitřního vybrání – první upnutí.
IV	Zarovnání druhého čela – druhé upnutí.
V	Navrtání čela pro operaci broušení – druhé upnutí.
VI	Soustružení vnějšího průměru – druhé upnutí.

Příklad výpočtu jednotkového strojního času pro první třísku druhého úseku pro klasický soustruh:

Výpočet jednotkového strojního času pro podélné soustružení dle vztahů 1.8, 1.9, 1.1 (kap. 1.3.1):

$$t_{AS1} = \frac{38}{244 \cdot 0,2} = 0,78 \text{ min}$$

$$L = 37 + 1 = 38 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 150}{\pi \cdot 196} = 243,6 \text{ min}^{-1}$$

#### Varianta I.

Pro soustružení na klasických je uvažováno použití konstantních otáček. Časy  $t_{as}$  jsou navýšeny o 10% pro přejezdy rychloposuvem (Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Strojní čas pro soustružení na klasickém stroji

úsek	popis	$V_c$	$D$	$n$	$f$	$a_p$	$i$	$L$	$t_{AS}$
		[m/min]	[mm]	[1/s]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[min]
I	Hrubování	90	202	142	0,2	1,8	1	103	3,99
	Dokončení	90	202	142	0,15	0,2	1	103	5,32
II	Hrubování a)	90	202	142	0,2	3	2	38	2,95
	Hrubování b)	90	191	150	0,2	3	12	8,5	3,74
	Dokončení	90	202	142	0,15	0,2	1	83,5	4,32
III	Hrubování	90	110	261	0,2	1	6	57	7,22
	Dokončení	90	110	261	0,15	0,2	1	65	1,83
IV	Hrubování	90	202	142	0,2	2	2	103	7,98
	Dokončení	90	202	142	0,15	0,2	1	103	5,32
V	Navrtání	10	2	1592	0,1		1	7	0,05
VI	Hrubování	90	202	142	0,2	3	27	49	51,28
	Dokončení	90	202	142	0,15	0,2	1	130	6,72
$t_{AS} =$									100,7

Dále do celkového strojního času bude připočten čas, který je bezprostředně nutný pro vykonání operace. Čas  $t_{A1}$  zahrnuje upnutí a odepnutí obráběné součásti, měření součásti, výměna nástrojů (Tab. 4.3).

Tab. 4.3 Čas bezprostředně nutný pro vykonání operace

úkon	čas [min]
upnutí	2
vyrovnání	5
odepnutí	2
měření	5
$t_{A1} =$	14

Čas jednotkové práce je dán součtem jednotkového strojního času a času bezprostředně nutného pro vykonání operace:

$$t_A = 100,7 + 2 \cdot 14 = 128,7 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 14 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 128,7 \cong 15,4 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 128,7 + 14 + 15,4 = 158,4 \text{ min}$$

#### Varianta II.

Strojní čas pro soustružení na NC stroji SPT 16 NC byl vyhodnocen z vypočteného času softwaru Kovoprog, ve kterém byl vytvořen program na obrábění.

$$t_{AS} = 36 + 22 = 58 \text{ min}$$

Čas  $t_{A1}$  je použit i pro NC stroj, viz rozpis úkonu v tabulce č. 4.3. Časy jednotlivých úkonů jsou dle normativu používaného firmou.

$$t_A = 58 + 2 \cdot 14 = 82 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 49 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 82 \cong 9,8 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 82 + 49 + 9,8 = 140,8 \text{ min}$$

## Frézování

### Varianta I.

Pro variantu I. budou operace č. 40, č. 50 a č. 90 zpracovány zvlášť z důvodu použití různých strojů.

#### Operace č. 40:

Příklad výpočtu jednotkového strojního času pro první třísku:

Pro výpočet jednotkového strojního času použijeme vztahy č. 1.28 a zjednodušený vztah 1.31.

$$t_{AS1} = \frac{48}{350} = 0,14 \text{ min}$$

$$L = 28 + 2 + 2 + \frac{32}{2} = 48 \text{ mm}$$

Operace č. 40 je možno rozdělit do tří úseků:

I) Hrubování žebér na  $s=10$  mm k průměru 125 mm,

$$t_{ASI} = \frac{L \cdot i \cdot j \cdot k}{v_f} = \frac{48 \cdot 12 \cdot 7 \cdot 4}{350} = \frac{16128}{350} = 46,1 \text{ min},$$

kde:  $i$  [-] – počet třísek při jednom natočení,

$j$  [-] – počet natočení dělicího přístroje mezi jednotlivými žebry,

$k$  [-] – počet mezer mezi žebry.

II) Hrubování orovnění mezi žebry do hloubky 15 mm,

$$t_{ASII} = \frac{L \cdot i \cdot k}{v_f} = \frac{186 \cdot 5 \cdot 4}{320} = \frac{3720}{320} = 11,6 \text{ min}.$$

III) Frézování 4x sražení  $15 \times 30^\circ$ ,

$$t_{ASIII} = \frac{L \cdot i \cdot k}{v_f} = \frac{52 \cdot 1 \cdot 4}{80} = \frac{208}{80} = 2,6 \text{ min}.$$

$$t_{AS} = t_{ASI} + t_{ASII} + t_{ASIII} = 46,1 + 11,6 + 2,6 = 60,3 \text{ min}$$

Čas  $t_{A1}$  pro operaci č. 40 je uveden v tabulce č. 4.4.

Tab. 4.4 Čas bezprostředně nutný pro vykonání operace

úkon	čas [min]
upnutí	3
vyrovnání	5
odepnutí	1
měření	3
$t_{A1} =$	12

---

$$t_A = 60,3 + 12 = 72,3 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 19 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 72,3 \cong 8,7 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 72,3 + 19 + 8,7 = 100 \text{ min}$$

Operace č. 50:

Operace č. 50 je možno rozdělit do tří úseků:

I) Hrubování pr.120h9 do hloubky 8,5 mm,

$$t_{ASI} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{443 \cdot 2}{95} = \frac{886}{95} = 9,3 \text{ min.}$$

II) Hrubování pr.120h9 a žebra na sílu 8 mm včetně R5,

$$t_{ASII} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{755 \cdot 4}{80} = \frac{3020}{80} = 37,8 \text{ min.}$$

III) Frézování žeber na sílu 8 mm včetně přechodů R20 na 4HR 35 do hloubky 16 mm

$$t_{ASIII} = \frac{L \cdot i \cdot k}{v_f} = \frac{156 \cdot 2 \cdot 4}{115} = \frac{1248}{115} = 10,9 \text{ min.}$$

$$t_{AS} = t_{ASI} + t_{ASII} + t_{ASIII} = 9,3 + 37,8 + 10,9 = 58 \text{ min}$$

Čas  $t_{A1}$  pro operaci č. 50 je uveden v tabulce č. 4.4.

$$t_A = 58 + 2 \cdot 12 = 82 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 24 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 82 \cong 9,8 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 82 + 24 + 9,8 = 115,8 \text{ min}$$

---



---

Operace č. 90:

Operace č. 90 je možno rozdělit do šesti úseků:

I) Frézování čela na míru 36,5-0,3 mm,

$$t_{ASI} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{250 \cdot 2}{250} = 2 \text{ min.}$$

II) Frézování  $\emptyset 120\text{h}9$  hotově do hloubky 8,5 mm,

$$t_{ASII} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{443 \cdot 2}{95} = 9,4 \text{ min.}$$

III) Frézování  $\emptyset 120\text{h}9$  hotově mezi žebry

$$t_{ASIII} = \frac{L \cdot i \cdot k}{v_f} = \frac{189 \cdot 2 \cdot 4}{80} = \frac{1510}{80} = 18,8 \text{ min.}$$

IV) Frézování hrany  $1 \times 45^\circ$  na  $\emptyset 120\text{h}9$  hotově,

$$t_{ASIV} = \frac{L}{v_f} = \frac{443}{110} = 4 \text{ min.}$$

V) Frézování  $\emptyset 110^{+0,1}_{+0,05}$  hotově,

$$t_{ASV} = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{220 \cdot 2}{95} = 4,6 \text{ min.}$$

VI) Frézování hrany  $1 \times 45^\circ$  na  $\emptyset 110^{+0,1}_{+0,05}$  hotově

$$t_{ASVI} = \frac{L}{v_f} = \frac{220}{110} = 2 \text{ min.}$$

$$t_{AS} = t_{ASI} + t_{ASII} + t_{ASIII} + t_{ASIV} + t_{ASV} + t_{ASVI} = 2 + 9,4 + 18,8 + 4 + 4,6 + 2 = 40,8 \text{ min.}$$

Čas  $t_{A1}$  pro operaci č. 90 je uveden v tabulce č. 4.4.

$$t_A = 40,8 + 12 = 52,8 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 24 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 52,8 \cong 6,3 \text{ min}$$

---

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 52,8 + 24 + 6,3 = 83,1 \text{ min}$$

Varianta II.

Strojní časy pro frézovací operace na stroji Tajmac MCFV 2080 byly odečteny ze simulace v systému Heidenhain iTNC 530. Časy  $t_{A1}$  pro operaci č. 40 i pro operaci č. 90 jsou uvedeny v tabulce č. 4.5.

Operace č. 40:

$$t_{AS} = 34 + 46 = 80 \text{ min}$$

Tab. 4.5 Čas bezprostředně nutný pro vykonání operace pro operaci č. 40 a č. 90

úkon	čas [min]
upnutí	3
vyrovnání	5
odepnutí	1
měření	3
$t_{A1} =$	12

$$t_A = 80 + 2 \cdot 12 = 104 \text{ min}$$

Výpočet času dávkové práce  $t_B$  pro operaci č.40 je v tabulce č. 4.6. Jednotlivé úkony jsou převzaty z normativu, který je používán ve firmě:

Tab. 4.6 Čas dávkové práce pro operaci č. 40

úkon	ks	čas na kus	čas
	[-]	[min]	[min]
manipulace se sklíčidlem			5
příprava sklíčidla			5
nastavení nulového bodu	3x	5 =	15
nastavení dorazů			5
nahrání programu	2x	3 =	6
nachystání nástrojů	10x	3 =	30
zapsání korekce nástrojů	10x	0,5 =	5
Celkem $t_B =$			71

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 104 = 12,5 \text{ min}$$

---

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 104 + 71 + 12,5 = 188,5 \text{ min}$$

Operace č. 90:

$$t_{AS} = 16 \text{ min}$$

$$t_{A1} = 12 \text{ min}$$

$$t_A = 16 + 12 = 28 \text{ min}$$

Výpočet času dávkové práce  $t_B$  pro operaci č. 90 je v tabulce č. 4.7. Jednotlivé úkony jsou převzaty z normativu, který je používán ve firmě:

Tab. 4.7 Čas dávkové práce pro operaci č. 90

úkon	ks	čas na kus	čas
	[-]	[min]	[min]
manipulace se sklíčidlem			5
příprava sklíčidla			5
nastavení nulového bodu	3x	5 =	15
nastavení dorazů			5
nahrání programu			3
nachystání nástrojů	8x	3 =	24
zapsání korekce nástrojů	8x	0,5 =	4
Celkem $t_B =$			61

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 28 \cong 3,4 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 28 + 61 + 3,4 = 92,4 \text{ min}$$

### Vrtání

Strojní čas pro vrtání bude provedeno pouze pro variantu I. tedy pro klasickou vrtačku, protože vrtání na NC stroji bude provedeno v obráběcím centru společně s frézováním.

#### Varianta I.

Pro výpočet jednotkového strojního času byly použity vzorce 1.34, 1.35, 1.42. Výpočet vrtacích času v tabulce č. 4.8.

Tab. 4.8 Strojní čas pro vrtání

druh otvoru	úkon	D	L	$v_c$	n	f	i	tas1
		[mm]	[mm]	[m/min]	[1/s]	[mm]	[-]	[min]
otvor $\varnothing 11$	navrtání otvorů	3,15	7	15	1500	0,08	6	0,4
	vrtání otvorů	11	37	25	720	0,14	6	2,2
zhloubení $\varnothing 26$	navrtání otvorů	3,15	7	15	1500	0,08	3	0,2
	vrtání otvorů	26	8	25	300	0,26	3	0,3
	zarovnání dna u otvorů	26	8	25	300	0,1	3	0,8
zhloubení $\varnothing 18$	zhloubení otvorů	18	11	25	440	0,05	6	3
Celkem $t_{AS} =$								6,8

$$t_A = 6,8 + 12 \cong 18,8 \text{ min}$$

Čas dávkové práce  $t_B$  je převzat z normativu, který je používán ve firmě:

$$t_B = 12 \text{ min}$$

Čas směnové práce je 12% času jednotkové práce:

$$t_C = 0,12 \cdot 18,8 \cong 2,3 \text{ min}$$

Celkový strojní čas pro jeden kus:

$$t = 18,8 + 12 + 2,3 = 33,1 \text{ min}$$

## 4.2. Výrobní náklady

Výrobní náklady jsou počítány ze sazebníku pro jednotlivé stroje z obchodního oddělení firmy. Hodinové náklady pro jednotlivé stroje jsou uvedeny v tabulce 4.9.

Tab. 4.9 Hodinový sazebník pro jednotlivé stroje

	Stroj	Číslo operace	Hodinová sazba
			[Kč]
Varianta I.	Soustruh SV 18R/1000	20	600
	Frézka FG 32 U	40	500
	Vertikální frézka FGSV 50	50	700
	Radiální vrtačka VR 4	55	500
	Vertikální frézka FGSV 50	90	700
Varianta II.	Soustruh SPT 16 NC	20	900
	Obráběcí centrum MCFV 2080	40	1000
	Obráběcí centrum MCFV 2080	90	1000

### 4.3. Hodnocení výsledků

Návrh výroby vybraného představitele bude hodnocen dle finanční náročnosti na výrobu. Byly hodnoceny pouze ty operace, u kterých je možná obměna klasických obráběcích strojů za NC a CNC stroje. Výsledky výpočtů a měření jsou uvedeny v tabulce č. 4.10.

Rozdělení variantního řešení pro konečný návrh výroby:

- Varianta I. – klasické obráběcí stroje pro všechny operace.
- Varianta II. – NC a CNC stroje pro všechny operace.
- Varianta III. – soustružení na klasickém stroji, frézování a vrtání na CNC stroji.
- Varianta IV. – soustružení na klasickém stroji, frézování na hrubo a vrtání na CNC stroji, frézování na čisto na klasickém stroji.
- Varianta V. – soustružení na klasickém stroji, frézování na hrubo a vrtání na klasickém stroji, frézování na čisto na CNC stroji.
- Varianta VI. – soustružení na NC stroji, frézování a vrtání na klasickém stroji.
- Varianta VII. – soustružení na NC stroji, frézování na hrubo a vrtání na NC a CNC stroji, frézování na čisto na klasickém stroji.
- Varianta VIII. – soustružení na NC stroji, frézování na hrubo a vrtání na klasickém stroji, frézování na čisto na CNC stroji.

Tab. 4.10 Výsledky návrhů výroby součástí

Výrobní cena	Počet kusů									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Varianta I.	5011	9065	13118	17171	21224	25277	29330	33383	37436	41489
Varianta II.	6777	10618	14460	18301	22143	25985	29826	33668	37509	41351
Varianta III.	6245	10151	14056	17962	21867	25773	29678	33584	37489	41394
Varianta IV.	5676	9749	13821	17894	21967	26039	30112	34185	38258	42330
Varianta V.	5581	9467	13353	17238	21124	25010	28896	32782	36668	40553
Varianta VI.	5543	9532	13521	17510	21500	25489	29478	33467	37457	41446
Varianta VII.	6207	10216	14225	18234	22243	26251	30260	34269	38278	42287
Varianta VIII.	6112	9934	13756	17578	21400	25222	29044	32866	36688	40510
Výrobní cena	Počet kusů									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Varianta I.	45542	49595	53649	57702	61755	65808	69861	73914	77967	82020
Varianta II.	45193	49034	52876	56717	60559	64401	68242	72084	75925	79767
Varianta III.	45300	49205	53111	57016	60922	64827	68732	72638	76543	80449
Varianta IV.	46403	50476	54548	58621	62694	66766	70839	74912	78985	83057
Varianta V.	44439	48325	52211	56097	59983	63868	67754	71640	75526	79412
Varianta VI.	45435	49424	53414	57403	61392	65381	69371	73360	77349	81338
Varianta VII.	46296	50305	54313	58322	62331	66340	70349	74358	78367	82375
Varianta VIII.	44332	48154	51976	55798	59620	63442	67264	71086	74908	78730

---

## DISKUZE

V úvodu je představena strojírenská firma, pro kterou tato práce bude sloužit jako podklad pro výrobu.

V první kapitole je popsán zvolený výrobní představitel, kterým byla vybrána součást Opěrný kotouč. Tento představitel byl zvolen, protože na výrobu je nutné použít většinu základních obráběcích operací, jako jsou soustružení, frézování a vrtání. V další části jsou tyto základní operace popsány. V popisu lze naléznout popis operace, nejčastěji používané nástroje, výpočet řezného pohybu a řezné síly a výpočet jednotkového strojního času.

Ve druhé kapitole je přiblížena technologie obrábění na NC a CNC strojích. Je zde popsána historie programování a současné metody programování, které se dělí na programování ruční, kdy je použit editor a program je nejčastěji psán v ISO kódu a dále na programování strojní, které využívá CAD softwarů, ve kterých je vytvořen model součásti a CAM softwarů, ve kterých je popsána technologie výroby, jako použité nástroje, jejich řezné podmínky, výchozí body atd. a následně je vygenerován pomocí postprocesoru program. Dále jsou v kapitole popsány softwary, které jsou používány ve firmě pro výrobu programů. A poslední částí této kapitoly je popis NC a CNC obráběcích strojů, které firma využívá ve výrobě.

Třetí kapitola popisuje variantní návrhy výroby zvoleného představitele, kde v první variantě je zvolena výroba na klasických konvenčních strojích a ve druhé variantě je zvolena výroba na NC a CNC strojích. Obě tyto varianty jsou rozděleny podle jednotlivých operací.

V poslední čtvrté kapitole jsou vypočteny nebo změřeny jednotlivé výrobní časy, které byly přepočteny dle hodinových sazeb strojů na výrobní náklady pro jednotlivé varianty výroby. Nebyly hodnoceny pouze první a druhá varianta z třetí kapitoly, ale byly zváženy i kombinace výroby na klasických i NC a CNC strojích. Z výsledků je patrné, že pro výrobu 1 – 4 kusů bych doporučil výrobu pouze na klasických konvenčních strojích. Pro výrobu 5 – 9 kusů bych doporučil výrobu, kde soustružení bude provedeno na klasickém stroji, frézování na hrubo a vrtání také na klasickém stroji a frézování na čisto na CNC stroji. A pro výrobu více jak 10 kusů bych doporučil výrobu, kde soustružení bude provedeno na NC stroji, frézování na hrubo a vrtání na klasickém stroji a frézování na čisto na CNC stroji. Dále z výsledků vyplývá skutečnost, že výroba pouze na NC a CNC strojích není výhodná pro žádnou výrobní dávku.

---

## ZÁVĚR

Z výsledků výpočtů a měření je patrné, že výrobní postup, tak aby byl nejefektivnější, pro konkrétního zvoleného představitele se bude lišit podle výrobní dávky. Pro výrobu 1 – 4 kusů bych doporučil zvolit celou výrobu na klasických obráběcích strojích. Pro výrobu 5 – 9 kusů bych doporučil výrobu, kde soustružení bude provedeno na klasickém stroji, frézování na hrubo a vrtání také na klasickém stroji a frézování na čisto na CNC stroji. A pro výrobu více jak 10 kusů bych doporučil výrobu, kde soustružení bude provedeno na NC stroji, frézování na hrubo a vrtání na klasickém stroji a frézování na čisto na CNC stroji. Dále je velmi překvapivým výsledkem, že výroba pouze na NC a CNC strojích není výhodná pro žádnou výrobní dávku.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. METALPRES [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.metalpres.cz/>
2. HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory -save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory -save/TI_TO-1cast.pdf)
3. HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění – 2. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 95 s. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory -save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory -save/TI_TO-2cast.pdf)
4. *Technologie třískového obrábění*. Technická univerzita Ostrava [online]. [cit.2017-03-20]. Dostupné z: [http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)
5. WALTER [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: [http://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard\\_products/milling/overview/shoulder\\_milling/protostar\\_n\\_50/Pages/default.aspx](http://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard_products/milling/overview/shoulder_milling/protostar_n_50/Pages/default.aspx)
6. PRAMET [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/img/PICTURES/Milling/Main/S45OD05D-face.JPG>
7. NAKOL [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [https://www.nakol.cz/vrtak-221110-hss-stredici-60--tvar-a?p3=15266&utm\\_source=sklik&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Produktov%c3%a1+kampa%c5%88&utm\\_content=Produktovka#lightbox](https://www.nakol.cz/vrtak-221110-hss-stredici-60--tvar-a?p3=15266&utm_source=sklik&utm_medium=cpc&utm_campaign=Produktov%c3%a1+kampa%c5%88&utm_content=Produktovka#lightbox)
8. GRUMANT [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.grumant.cz/produkty/nastroje-pro-obrabeni/vrtani>
9. KUBÍN, J. *Stručná historie CAD/CAM až po současnost* [online]. [cit. 10-03-2017] Dostupné z: [http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2\\_CAD-CAM.htm](http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm)
10. SIGGRAPH [online]. [cit. 10-03-2017]. Dostupné z: <https://www.siggraph.org/publications/newsletter/v33n3/columns/images/machover6.jpgA>
11. T-SUPPORT [online]. [cit. 10-03-2017]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/cad-cam-historie-a-soucasnost-2>
12. KELLER, P. *Programování a řízení CNC strojů, Prezentace přednášek – 2.část*. [online]. Technická univerzita v Liberci, Katedra výrobních systémů, 2005. 51 s. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf)
13. SOBSITES [online]. [cit. 15-03-2017]. Dostupné z: <http://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV TEXT - 1.ST.pdf>
14. KOVOPROG [online]. [cit. 4-04-2017]. Dostupné z: <http://kovoprogr.cz/cz/index.html>
15. TAJMAC-ZPS, *MCFV 2080* [online]. [cit. 24-04-2017]. Dostupné z: [http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv2080\\_cz.pdf](http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv2080_cz.pdf)



- 
16. TAJMAC-ZPS, *MCFV 2080* [online]. [cit. 24-04-2017]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCFV-2080>
  17. ZEMČÍK, O. *Technologické procesy* [online]. Učební texty kombinovaného bakalářského studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 54 s. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
  18. *Technologie třískového obrábění*. Technická univerzita Ostrava [online]. [cit.2017-03-20]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_1dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf)

---

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	-	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAM	-	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CNC	-	Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
ČSN	-	České technické normy
EN	-	Evropská norma
ISO	-	International Organization for Standardization - Mezinárodní organizace pro normalizaci
CNC	-	Numeric Control – číslicové řízení

Symbol	Jednotka	Popis
$A_D$	Mm	Průřez třísky
$C_{Fc}$	-	Konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu
$D$	mm	Průměr obráběné plochy
$D$	mm	Průměr frézy, vrtáku
$F$	N	Celková řezná síla
$F_c$	N	Řezná síla
$F_f$	N	Posuvová síla
$F_p$	N	Pasivní síla
$L$	mm	Dráha nástroje
$a_p$	mm	Axiální šířka záběru ostří
$b_i$	mm	Šířka třísky
$C_{Fc}$	-	Materiálová konstanta
$C_{Ff}$	-	Materiálová konstanta
$C_{Fp}$	-	Materiálová konstanta
$f$	mm	Posuv
$f_n$	mm	Posuv na otáčku
$f_z$	mm	Posuv na zub
$h_i$	mm	Výška třísky
$k_{ci}$	MPa	Měrná řezná síla
$l_n$	mm	Délka nájezdu
$l_p$	mm	Délka přejezdu

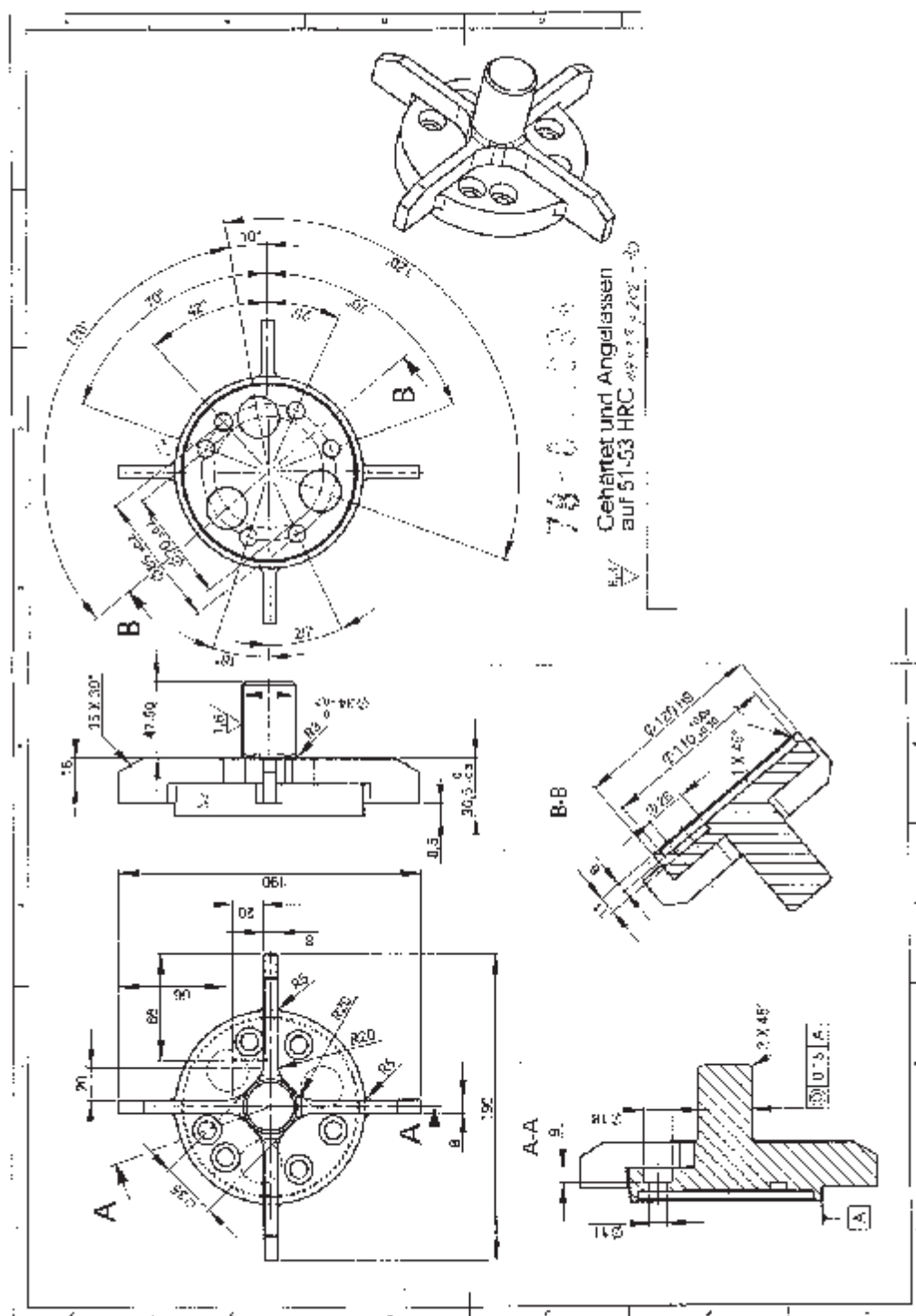
---

$n$	$\text{min}^{-1}$	Otáčky
$n_z$	-	Počet zubů v záběru
$t$	min	Celkový čas
$t_A$	min	Čas jednotkové práce
$t_{AS}$	min	Jednotkový strojní čas
$t_{A1}$	min	Jednotkový čas práce
$t_B$	min	Čas dávkové práce
$t_C$	min	Čas směnové práce
$v_c$	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Řezná rychlost
$v_e$	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Řezný pohyb
$v_f$	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Posuvová rychlost
$x_{Fc}$	-	Exponent vlivu $a_p$
$x_{Ff}$	-	Exponent vlivu $a_p$
$x_{Fp}$	-	Exponent vlivu $a_p$
$y_{Fc}$	-	Exponent vlivu $f$
$y_{Ff}$	-	Exponent vlivu $f$
$y_{Fp}$	-	Exponent vlivu $f$
$z$	-	Počet zubů

---

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Opěrný kotouč
Příloha 2	Technologický postup
Příloha 3	Materiálový list
Příloha 4	Příklad partprogramu
Příloha 5	Technické parametry stroje Tajmac MCFV 2080



## Příloha 2 1/2

METALpres - PRAC. POSTUP: 78-8.5094 pol: 98/1481 DNE: 09.02.2016					
vykres 100 814 533	kód 7	název STUETZSCHEIBE		kmen str:854 mist.urd:858	
jakost	mj 60	202.0	rozměry 90	list 1	
polotovár	cista.km	tyc	upn	del.	char 1
autor Sedlacek	sp.kmot	cena za jednotku			
c.op str	pracov.	TS	TA	trida	jak_n
10 802 5967	4.00	35.00	5	2	
Rezat.					
20 858 4516	24.00	150.00	5	2	
PGM:4516-H-21963 A,B *** Zarovnat celo, v delce 37 soustr.pr.191. v delce 8.5 osazeni na pr.121 a vybrani pr.109 do hl.6. Z druhe strany celo na 84.5, zavrtat pr.2.0, v delce 47.5 soustr.pr.34.45 vc. R3 a sr.br. 2x45st. s ohl. na prid.					
30 854 9412	5.00	3.00	5	2	
Pro op.40 rys. osovy kriz a pr.125.					
40 854 5226	24.00	100.00	5	2	
Hrubovat 4x zebro na s=10 k pr.125 a 4x orcovani mezi zebry na hl.15, 4x sraz. 15x30st., odjehlít.					
50 855 5391	39.00	90.00	6	2	
PGM:5391-B-0119 I,II *** 8 prid. 0.5/pl. frez.pr.120h9 po celém obvodu a přes celou sírku naboje /22/. Hotové 3x zahloubení pr.25 na hl.11.5, 4x zebra na dl.190, sírku 8 s prechodem R20 na 4HR 35 hl.16. Vrtat 6x pr.11 vc. zahl. pr.18 hl.9.					
60 859 9421	2.00	10.00	5	2	
Peclive odhrotit.					
70 842 9171	120.00	7	2		
Kalit a popustit na 51-53 HRC. /Bezokujove NAREX zdanice/					
80 802 6151	4.00	5	2		

## Příloha 2 2/2

```

Jenne otrykat.
-----
90 855 5391      39.00  39.00      6      2

PGM:5391-H-0120 ***
Frez. hotove celo na 36.5-0.3, pr.120b9

```

```

-----
METALpres - PRAC. POSTUP: 78-8.5094 pol: 98/1481 DNE: 09.02.2016
-----
vykres      |   kode   |   nazev   | knen str:854
100 814 533  |      7   | STUBTZEHEIBE | mist.ure:858
-----
jakost      | mj       | rozmery   |          | list
60          | 202.0    | 90        |          | 2
-----
polotovar   | cista.km | tyc  | upn  | del. | char
            |          |      |      |      | 1
-----
autor       |   ap.kmot |   cena za jednotku
Sedlacek   |           |
-----
c.op str pracov.  TB      TA      trida  jak_n
=====
vc. sr.hr., vybrani pr.110+0.1+0.05 na
hl.6 vc. hr. ix45st., 4x zabro na odskok
8.5.
-----
100 854 5525      19.00   8.00      6      2
-----
Upnout za vybrani a brousit pr.34-0.2.
-----
110 859 9421      5.00  15.00      5      2
-----
Celkove odhrotit.
-----

```

KONEC TISKU



### Příloha 3

ČSN 41 9573		Nástrojová vysokolegovaná Cr-V-Mo ocel pro práci za studena				OCEL 19 573	
Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
1,40–1,65	0,20–0,45	0,20–0,45	max 0,030	max 0,035	11,0–12,5	0,60–0,95	0,80–1,20
Polotovary							
[1] tyče válcované nebo kované za tepla							
– kruhové							
– čtvercové							
– ploché							
Mechanické vlastnosti <sup>1)</sup>							
Polotovary	[1]						
Rozměr l, d [mm]	20						
Stav	kalení a popuštění						
Mez kluzu R <sub>k</sub> nebo R <sub>k</sub> 0,2 [MPa]	–						
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	–						
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	–						
Kontrakce Z [%]	–						
Vrbová houževnatost KCU 2 [J.cm <sup>2</sup> ]	–						
Tvrdost HRC	–60–61 (K. t. 1 000 °C/olej; P. t. 200 °C/2 h)						
Mez kluzu v tlaku R <sub>kt</sub> [MPa]	–3 000 (při 60–61 HRC)						
Pevnost v ohybu R <sub>ms</sub> [MPa]	–3 100 (při 60–61 HRC)						
Polotovary	[1]						
Rozměr l, d [mm]	20						
Stav	kalení ze zvýšené teploty, sekundárně vytvrzený						
Mez kluzu R <sub>k</sub> nebo R <sub>k</sub> 0,2 [MPa]	–						
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	–						
Tažnost A <sub>5</sub> [%]	–						
Kontrakce Z [%]	–						
Vrbová houževnatost KCU 2 [J.cm <sup>2</sup> ]	–						
Tvrdost HRC	–60–61 (K. t. 1 050 °C/olej; P. t. 525 °C/1×2 h)						
Mez kluzu v tlaku R <sub>kt</sub> [MPa]	–2 900 (při 60 HRC)						
Pevnost v ohybu R <sub>ms</sub> [MPa]	–3 000 (při 60 HRC)						
Fyzikální vlastnosti <sup>2)</sup>							
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Rezistivita	
ρ [kg.m <sup>-3</sup> ]	c <sub>p</sub> [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	α [K <sup>-1</sup> ]		λ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		ρ [Ω.m]	
7 720	–	12,2.10 <sup>-6</sup>		–30		–	

---

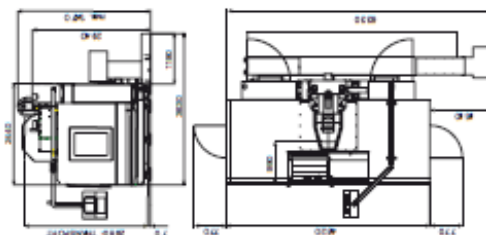
## Příloha 4

Partprogram :C:\KOVOPROG\DP1.PPR

```
1  g,-10,100,-10,230/2
2  pv,'p',50;191/2,78;191/2,78.5;190/2,78.5;121/2,86.5;121/2,87;120/2,
87;110/2,86.5;109/2,81;109/2,81;0
3  t,120,200,p,150
4  otr,2
5  nas,1,75,d,0,0,1,n,.8,2,a
6  pri,207/2,z
7  pri,x,88.5
8  pri,-1,z,150
9  ods,p,n
10 pri,207/2,z
11 pri,x,87
12 pri,-1,z,150
13 ods,p,n
14 hru,'p',6,1,0.5,0.2,87.5;202/2,.5,.5,150,3,n
15 pri,x,88
16 kon,'p',0,0,6,4,150#2,-.5,.5
17 ods,p,n
18 kon,'p',0,0,3,4,150,1,0
19 ods,p,n
20 kon,'p',0,0,3,1,150#2,-.5,.5
21 ods,p,n
22 rov
23 nas,5,60,h,0,0,3,n,.8,8,a
24 hru,'p',10,7,.5,.2,87.5;0,.5,.5,150,1,a
25 pri,x,87.5
26 kon,'p',0,0,10,9,150,-.5,.5
27 ods,o,n
28 kon,'p',0,0,7,9,150#2,.5,.5
29 ods,o,n
30 rov
31 end
```

# MCFV 2080

Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080 je vysoce produktivní stroj pro kompletní třeskové obrábění. Pracovní stůl, jehož horní plocha slouží pro upnutí obráběcí, se pohybuje v podélném směru (osa X) po vedení na křídlovém suportu. Křídlový suport se pohybuje po vedení na základně v příčném směru (osa Y). Vřeteník se pohybuje ve vertikálním směru (osa Z) po vedení na stojanu. Všechny pohyby stroje jsou realizovány prostřednictvím lineárního vedení s valivými prvky, jejichž dimenze a umístění dovoluje vysoké zatížení stolu, suportu a vřeteníku při zachování vysoké přesnosti rozměrů a kvality obrábění i při přerušovaném řezu. Toto konstrukční řešení také zajišťuje vysokou životnost stroje. Odměrování polohy v osách X, Y, Z je prováděno přímo inkrementálními lineárními odměřovacími jednotkami. Stroj je vybaven elektronickou kompenzací teplotržních dilatací. Funkce stroje jsou řízeny CNC řídicím systémem, který umožňuje obrábění i prostorově složitých tvarů, kdy nástroj sleduje dráhu vzniklou jako výstup z 3D CAD programu.



# TECHNICKÁ DATA

## Pojezdy

Osa X (pracovní stůl)	2 030 mm
Osa Y (křídlový suport)	810 mm
Osa Z (vřeteník)	810 mm
Vzdálenost čela vřetení od stolu	110 – 920 mm
Maximální pracovní posuv	30 mm/min
Rychlost posuv	30 mm/min
Zrychlení	3,5 m/s <sup>2</sup>
<b>Stůl</b>	
Pracovní plocha	2 200 × 780 mm
Počet T-drážek × sířka × rozteč	5 × 18 mm × 160 mm
Maximální zatížení	3 000 kg

## STANDARDNÍ VYBAVENÍ

- Digitální pohony
- Lineární optoelektrická pravítka
- Centrální mazací systém
- Zásobník nástrojů s výměnou rukou
- Automatické ofukování držáku nástroje
- Chladič agregát se systémem chlazení nástroje
- Oplachování teleskopických krytů
- Systém dopravníků tlisk
- Elektronická kompenzace

## Vřetení

	ISO 40 (HSK-A 80)	ISO 50	ISO 50	ISO 40	ISO 50	ISO 40	ISO 40	HSK-A 63
Upínací kužel	10 000 min <sup>-1</sup>	8 000 min <sup>-1</sup>	3 500 min <sup>-1</sup>	12 000 min <sup>-1</sup>	8 000 min <sup>-1</sup>	15 000 min <sup>-1</sup>	15 000 min <sup>-1</sup>	18 000 min <sup>-1</sup>
Maximální otáčky	2028 kW	1725 kW	1725 kW	1725 kW	1725 kW	2531 kW	2531 kW	2531 kW
Výkon trvalý / přetížení S6 – 40 %	244/342 Nm	519/764 Nm	893/1313 Nm	96/141 Nm	143/210 Nm	159/197 Nm	159/197 Nm	159/197 Nm
Max. krout. mom. / přetížení S6 – 40 %								
Typ převodu	planetová převodovka*							

## Zásobník nástrojů

Počet míst v zásobníku	24 ks
Čas výměny nástroje	4,5 s
Maximální průměr nástroje – plně obsazený zásobník	110 mm
– bez obsazených nástrojů	180 mm
Maximální délka nástroje	300 mm
Maximální hmotnost nástroje	15 kg
Maximální hmotnost celková	200 kg

## Přívody energie

Jmenovité napětí sítě	3 × 400 V/50 Hz
Provozní příkon – dle motoru	35 kVA
Slacný vzduch	0,6 – 0,8 MPa

## Doplňkové údaje

Podorys stroje s dopravníkem tlisk	6 330 × 3 630 mm
Maximální pracovní výška stroje	3 470 mm
Hmotnost stroje	14 300 kg

## Rídicí systém

SIEMENS\*, HEIDENHAIN, FANUC\*

\*Příp. vybavení a číselné údaje nemusí vždy souhlasit s publikovanými specifikacemi stroje.

<p>Vězeň:</p> <p><b>TAMAC APS, s. r. o.</b></p> <p>Veveří 3, Křižovice, 1180</p> <p>633 02 Žďar nad Sázavou</p> <p>ČESKÁ REPUBLIKA</p> <p>IČ: 143 143 143</p> <p>DIČ: CZ000000000</p> <p>TEL: +420 571 571 000</p> <p>FAX: +420 571 571 000</p> <p>www.tamac.cz</p> <p>e-mail: info@tamac.cz</p>	<p>Hodě:</p> <p><b>TAMAC-MTH, s. p. a.</b></p> <p>Via Craxi Sesto 15</p> <p>20092 Cremola (Milano) (It)</p> <p>ITALY</p> <p>IČ: 143 143 143</p> <p>DIČ: CZ000000000</p> <p>TEL: +420 571 571 000</p> <p>FAX: +420 571 571 000</p> <p>www.tamac.cz</p> <p>e-mail: info@tamac.cz</p>
--	--

## VOLITELNÉ VYBAVENÍ\*

- Vřetení pro nástroje BIG-PLUS
- SK 40 – zásobník s kapacitou 30 nástrojů
- Zásobník kazetový s kapacitou 32, 42, 52 nástrojů
- Upínací kužel CAT 50, BT 50, CAT 40, BT 40, ISO 40, HSK-A63, HSK-A100
- Agregát pro chlazení osou vřetení s filtrační stanicí
- Chlazení nástroje osou vřetení kapalinou
- Chlazení nástroje osou vřetení vzduchem
- Chlazení nástroje olejovou mlhou
- Otočný stůl, 4, 5, řazená osa
- Sonda pro kontrolu rozměru obrábku
- Sonda pro kontrolu rozměru nástroje
- Oplachování pracovního prostoru
- Odsířovací odlučovač olejové mlhy a emulzního aerosolu z pracovního prostoru
- Stěrka oleje z hladiny chladič kapaliny
- 2. zásobník nástrojů